



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**

ÚSTAV BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF BIOMEDICAL ENGINEERING

MAPA ELEKTROMAGNETICKÝCH POLÍ V GIS

CHART OF ELECTROMAGNETIC FIELDS IN GIS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

MARTIN BRACHTL

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. JIŘÍ ROZMAN, CSc.

BRNO 2013



**VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ**

**Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií**

Ústav biomedicínského inženýrství

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor

Biomedicínská technika a bioinformatika

Student: Martin Brachtl

ID: 125734

Ročník: 3

Akademický rok: 2012/2013

NÁZEV TÉMATU:

Mapa elektromagnetických polí v GIS

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1) Seznamte se s existencí a zdroji elektromagnetických polí v životním prostředí a s hygienickým předpisem pro účinky elektromagnetických polí. 2) Prostudujte metody měření úrovně elektromagnetických polí a seznamte se s funkcí měřiče EMR 30. 3) Seznamte se s programovým prostředím geografického informačního systému ArcView a jeho možnostmi při zpracování dat. Vše zpracujte formou literární rešerše. 4) Pro zvolenou lokalitu proveďte měření úrovně elektromagnetického pole. 5) Získaná data zpracujte a analyzujte v GIS ArcView. 6) Dosažené výsledky vhodným způsobem prezentujte.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] ROZMAN, J., SADOVSKÝ, P. a ČERMÁK, D. Diagnostika životního prostředí. VUT FEI, Brno, 2000, ISBN 80-214-1771-4.

[2] SALAY, I. Pracujeme s geografickým informačním systémem ArcView GIS, Computer Press, Praha, 1999, ISBN 80-7226-214-9.

Termín zadání: 11.2.2013

Termín odevzdání: 31.5.2013

Vedoucí práce: doc. Ing. Jiří Rozman, CSc.

Konzultanti bakalářské práce:

prof. Ing. Ivo Provazník, Ph.D.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Abstrakt

Cílem bakalářské práce je seznámit se s existencí elektromagnetických polí v životním prostředí a s hygienickým předpisem pro účinky těchto polí. Dále seznámení se s funkcemi měřiče EMR-30 a seznámení se s programovým prostředím geografického informačního systému ArcView a jeho možnostmi při zpracování dat.

Měření elektromagnetických polí probíhalo v terénu v okolí kolejí Pod Palackého vrchem. Pro zpracování získaných dat, tvorbu map a následnou analýzu byly využity programy ArcScene 10.1, ArcMap 10.1 a jejich nadstavby.

Klíčová slova: Elektromagnetické pole, Geografický informační systém, EMR-30, tepelné účinky, netepelné účinky, Spatial Analyst

Abstract

The main goal in this bachelor thesis was to study the existence of electromagnetic fields in environment, and to study hygienic regulations. Then, to study functions of measurement system EMR-30 and to study UI of geographic information system ArcView and its abilities for data processing.

Measurement of electromagnetic fields was carried out in the neighborhood of campus Pod Palackeho vrchem. For processing the measured data, creating maps and subsequent analysis were used programs ArcMap 10.1, ArcScene 10.1 and add-ons.

Keywords: Electromagnetic field, Geographic information system, EMR-30, heat effects, non-heat effects, Spatial Analyst

BRACHTL, M. *Mapa elektromagnetických polí v GIS*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2013. 47 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Jiří Rozman, CSc..

Prohlášení

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci na téma „Mapa elektromagnetických polí v GIS“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009Sb.

V Brně dne

.....

podpis autora

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Jiřímu Rozmanovi za odborné rady, účinnou metodickou a pedagogickou pomoc a další cenné rady při zpracování bakalářské práce.

Obsah

Seznam obrázků	8
1. Úvod	9
2. Elektromagnetické pole	10
2.1 Základní poznatky z teorie elektromagnetické pole	10
2.1.1 Maxwellovy rovnice	10
2.1.2 Elektromagnetické vlnění	11
2.1.3 Kvantové vlastnosti elektromagnetického vlnění.....	13
2.2 Fyziologické účinky.....	13
2.2.1 Tepelné účinky	13
2.2.2 Netepelné účinky	15
2.3 Hygienické limity	15
3. Měření elektromagnetických polí	19
3.1 Měřicí přístroj EMR-30	19
3.2 Garmin GPSMAP 60CSx.....	21
4. Geografický informační systém.....	22
4.1 Struktura GIS	22
4.1.1 Technické prostředky (hardware)	22
4.1.2 Programové prostředky (software)	22
4.1.3 Geodata.....	23
4.2 ArcGIS Desktop.....	23
4.2.1 ArcMap.....	24
4.2.2 ArcCatalog	24
4.2.3 ArcToolbox	24
4.2.4 Model Builder.....	24
4.2.5 Nadstavby	25
4.3 Reprezentace světa v GIS.....	25
4.3.1 Geografická data	25
4.3.2 Datové modely	26
5. Měření, tvorba mapy, analýza	28
5.1 Postup měření.....	28
5.1.1 Data z měření	29
5.2 Tvorba mapy zájmové oblasti	31
5.2.1 Výběr souřadnicového systému.....	31
5.2.2 Georeferencování	32

5.2.3 Tvorba vektorové mapy	34
5.2.4 Vložení naměřených dat	35
5.3 Analýza získaných dat	36
5.3.1 Metoda přirozeného souseda.....	37
5.3.2 Metoda IDW	38
5.3.3 Spline.....	38
5.3.4 Kriging	39
5.4 3D model	41
6. Závěr.....	44
Seznam použité literatury	45
Seznam použitých zkratk a symbolů	47

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Postupná elektromagnetická vlna, [5]	12
Obrázek 2 - Oteplení tkáně v závislosti na době expozice, [6]	14
Obrázek 3 - Frekvenční závislost absorbovaného výkonu, [6]	14
Obrázek 4 - Nejvyšší přípustné hodnoty hustoty zářivého toku, SAR a hustoty proudu, [4]	18
Obrázek 5 – Měřicí přístroj EMR-30 spolu se sondou typu 8, [16]	20
Obrázek 6 - GPS přijímač Garmin GPSMAP 60CSx, [17]	21
Obrázek 7 - Mapa s místy měření elektromagnetického pole	30
Obrázek 8 - Výběr souřadnicového systému	32
Obrázek 9 - Nástroj Georeferencing s vybranou vrstvou k referencování	32
Obrázek 10 - Georeferencovaný letecký snímek	33
Obrázek 11 – Výběr vrstvy a typ obrazce	34
Obrázek 12 - Výsledná vektorová mapa zájmové oblasti	35
Obrázek 13 - Atributová tabulka s propojenými naměřenými hodnotami	36
Obrázek 14 - Interpolace pomocí metody přirozeného souseda	37
Obrázek 15 – Mapa elektromagnetický polí, při níž byla využita metoda IDW se silou 3	38
Obrázek 16 - Mapa elektromagnetický polí, při níž byla využita metoda Spline	39
Obrázek 17 – Exponenciální model semivariogramu	40
Obrázek 18 - Výsledná mapa elektromagnetických polí s využitím metody Kriging	40
Obrázek 19 - 3D model zájmové oblasti vytvořený v SketchUp	42
Obrázek 20 - 3D vizualizace zájmové oblasti s analýzou dat pomocí metody IDW	43

1. Úvod

V dnešním moderním, hektickém světě orientovaném především na velkovýrobu se setkáváme s čím dál tím rychlejším vývojem různorodých zařízení, která využívají elektromagnetická pole pro svůj provoz. Ať už se jedná o domácí elektrické spotřebiče, rozhlasové a televizní vysílače či antény základnových stanic GSM. Hustota všech těchto sítí se rozrůstá neuvěřitelně rychle. Díky tomu se kvalita, rychlost přenosu dat, ale i rozsah sítí zvětšují. Je tedy otázkou jak moc nás elektromagnetická pole ovlivňují v běžném životě. Jaký má vliv na náš vývoj a na kvalitu našeho života.

Je nezbytné a i účelné mít geografickou znalost o neznámém městě, kde leží nejbližší čerpací stanice či mít představu o některých veličinách, které nás ovlivňují, a které mohou být zaneseny v mapách naznačujících jejich rozsah a působnost. K tomuto může sloužit geografický informační systém.

V prvních teoretických kapitolách této práce se seznámíme s existencí elektromagnetických polí a jejich působením na člověka. Dále je v textu rozebráno nařízení vlády č. 1/2008, kde jsou shrnuty hygienické limity plynoucí z toho nařízení. Další kapitola je věnována měření elektromagnetických polí, především je zde zaměřena pozornost na přístroj EMR-30, který je širokopásmovým zařízením umožňující monitoring elektromagnetických polí. Poslední teoretická kapitola je spojena s geografickým informačním systémem, kde je zmíněna struktura tohoto expertního systému a další jeho klíčové vlastnosti, jako například jeho nadstavby, které umožňují rychlou analýzu dat.

V praktické části této práce je popsáno měření elektromagnetických, spolu s dosaženými výsledky. Měření probíhalo v areálu Pod Palackého vrchem. Lokalita byla vybrána z důvodů velké kumulace studentů, a je tedy na místě ověřit skutečnost, zda nejsou porušovány hygienické limity, a zda nehrozí rizika spojené s účinky elektromagnetických polí.

Získaná data jsou zpracována v prostředí ArcMap 10.1, kde je vytvořena vektorová mapa reprezentující vybranou oblast. Pomocí nadstaveb jsou data analyzována a měli bychom tím pádem získat představu o rozložení elektromagnetických polí ve vybrané oblasti.

2. Elektromagnetické pole

2.1 Základní poznatky z teorie elektromagnetického pole

Klasická teorie elektromagnetického pole se vynořila ve více méně komplexní formě v roce 1873 v práci J.C. Maxwella „Pojednání o elektřině a magnetismu“. Maxwell založil svoji teorii z větší části na intuitivních úvahách M. Faradaye. V této teorii jsou elektromagnetická pole zprostředkovateli interakce mezi hmotnými objekty. Tento pohled se radikálně liší od staršího pohledu „působení na dálku“, který předcházal teorii pole, [1].

Pod pojmem klasická teorie elektromagnetického pole rozumíme tzv. makroskopickou teorii, ta operuje s makroskopickými veličinami, jakými jsou například náboj, intenzity pole, parametry prostředí a jiné, [2].

Obecné elektromagnetické pole, ať již přírodní, nebo vytvořené lidskou činností (antropogenní), je nestacionární, to znamená, že je charakterizováno neustálou časovou proměnností. Často je však možné považovat proměnlivost pole za bezvýznamnou nebo „pomalou“. Dle stupně zjednodušení můžeme pole třídit na, [2]:

- **Pole statická**, kdy uvažujeme všechny náboje v klidu.
- **Pole stacionární**, ta jsou tvořena náboji, které se pohybují tak, že vytvářejí stacionární proudy.
- **Pole kvazistacionární**, jde o zjednodušení obecného nestacionárního pole, kdy se zanedbávají tzv. posuvné proudy.
- **Pole nestacionární** jsou obecná elektromagnetická pole.

2.1.1 Maxwellovy rovnice

Maxwellovy rovnice jsou základní rovnice klasické elektrodynamiky popisující elektromagnetické jevy v libovolném prostředí. Maxwellova teorie je teorie fenomenologická, tj. popisuje elektrické a magnetické vlastnosti prostředí pomocí určitých veličin, přičemž však nevysvětluje jejich závislost na vlastnostech prostředí, ani vnitřním mechanismus jevů probíhajících v prostředí a vytvářejících elektrické a magnetické pole, [3].

a) **Zákon celkového proudu** – první Maxwellova rovnice

Diferenciální
tvar

$$\operatorname{rot} \vec{H} - \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} = \vec{j} \quad (1.1)$$

Slovy lze rovnici vyjádřit následovně:

Magnetické pole je vyvoláno měnícím se elektrickým polem nebo vodivým proudem.

b) Zákon elektromagnetické indukce – druhá Maxwelllova rovnice

Diferenciální tvar
$$\operatorname{rot} \vec{E} + \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = 0 \quad (1.2)$$

Slovy lze rovnici vyjádřit následovně:

Časově proměnné magnetické pole je zdrojem vírového elektrického pole.

c) Gaussova věta elektrostatiky – třetí Maxwelllova rovnice

Diferenciální tvar
$$\operatorname{div} \vec{D} = \rho \quad (1.3)$$

Slovy lze rovnici vyjádřit následovně:

Elektrické pole je zřídlové a jeho zřídlem jsou elektrické náboje.

d) Gaussova věta magnetismu – čtvrtá Maxwelllova rovnice

Diferenciální tvar
$$\operatorname{div} \vec{B} = 0 \quad (1.4)$$

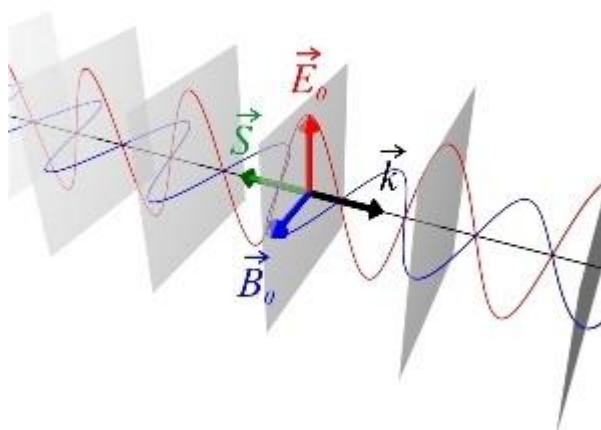
Slovy lze rovnici vyjádřit následovně:

Magnetické pole je nezřídlové.

kde \vec{j} je vektor hustoty proudu [A/m²], ρ je objemová hustota náboje [C/m³], \vec{E} je vektor intenzity elektrického pole [V/m], \vec{H} je vektor intenzity magnetického pole [A/m], \vec{D} je vektor elektrické indukce [C/m²] a \vec{B} je vektor magnetické indukce [T], [3].

2.1.2 Elektromagnetické vlnění

Zvláštním případem elektromagnetického pole je elektromagnetické vlnění. Tvoří je postupná elektromagnetická vlna (obrázek 1), v které je vektor intenzity elektrického pole \vec{E} kolmý k vektoru intenzity magnetického pole \vec{H} .



Obrázek 1 - Postupná elektromagnetická vlna, [5]

Velikost a směr obou vektorů se rychle mění, v důsledku toho tyto změny přenášejí energii. Rychlost přenosu této energie c ($c = 3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) šíření elektromagnetické vlny má směr kolmý na rovinu tvořenou vektory \vec{H} a \vec{E} .

Poyntingův vektor popisuje transport energie prostřednictvím elektromagnetického pole. Jedná se o vektorový součin intenzit elektrického a magnetického pole (rovnice 1.5). Pro vyjádření velikosti energie přenesené vlnou se užívá veličina, hustota zářivého toku S [W/m^2]. Vyjadřuje výkon, který elektromagnetická vlna přenáší plochou rovnou jednomu čtverečnímu metru kolmou ke směru šíření.

$$\vec{S} = \vec{E} \times \vec{H}, \quad (1.5)$$

kde \vec{S} je Poyntingův vektor, \vec{E} vektor intenzity elektrického pole a \vec{H} vektor magnetického pole, [5].

V homogenním nevodivém prostředí se vlna šíří rychlostí v [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$] a lze psát, [6]:

$$v = c / \sqrt{\mu \cdot \varepsilon}, \quad (1.6)$$

kde $\mu = \mu_0 \cdot \mu_r$ je permeabilita prostředí (μ_r - relativní permeabilita prostředí, μ_0 - permeabilita vakua), $\varepsilon = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r$ je permitivita prostředí (ε_r - relativní permitivita prostředí, ε_0 - permitivita vakua).

Pokud se šíří stejným místem dvě elektromagnetické vlny se stejnou frekvencí, sčítají se okamžité hodnoty kmitajících vektorů, jak magnetického, tak elektrického pole obou vln. Výsledná vlna vzniká superpozicí dvou takových vln. V některých místech pak může být velikost vektorů elektrického a magnetického pole dvojnásobná nebo nulová, [4].

2.1.3 Kvantové vlastnosti elektromagnetického vlnění

Elektromagnetické vlnění se chová jako proud částic letící rychlostí světla. Tyto částice se nazývají fotony. Energie fotonu závisí na frekvenci f a tedy na vlnové délce λ . Vtah mezi těmito veličinami je:

$$\lambda = c/f, \quad (1.7)$$

kde c je rychlost světla ($c = 3 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$).

Energetické kvantum elektromagnetického vlnění, tedy velikost energie E nesené fotonem je:

$$E = h \cdot f, \quad (1.8)$$

kde h je univerzální Planckova konstanta ($h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$).

Elektromagnetické záření může ionizovat atomy jen tehdy, je-li energie E jeho kvanta větší než energie, kterou je atomu nutné dodat k tomu, aby se od něho oddělil elektron. Hranice mezi ionizujícím a neionizujícím zářením je různá pro různé atomy. Dohodou se pro ni volí energie 5eV. Při působení záření na biologickou tkáň je uvažovaná hranice 20 eV, [4].

Elektromagnetické pole tedy dělíme na neionizující a ionizující, kdy je hraniční frekvence 10^{12} Hz . Toto rozdělení platí jen pro přírodní podmínky. Vhodnou úpravou neionizujících druhů záření např. laserem je možné vyvolat při průchodu biologickým materiálem ionizaci, [6].

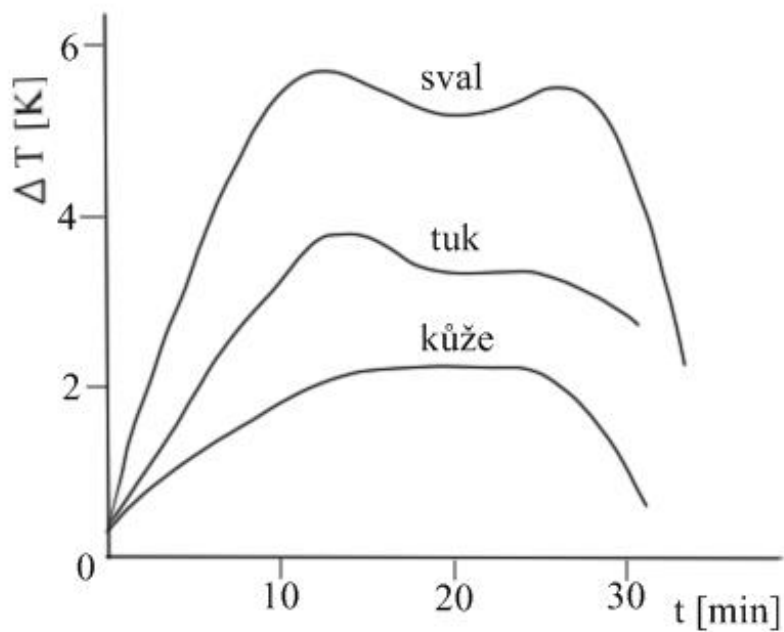
2.2 Fyziologické účinky

Mechanismy účinků jako reakce a odezva organismu na působení elektromagnetických polí vychází z fyzikálních jevů absorpce a indukce. Výsledným projev jsou pak tepelné a netepelné projevy, [6].

2.2.1 Tepelné účinky

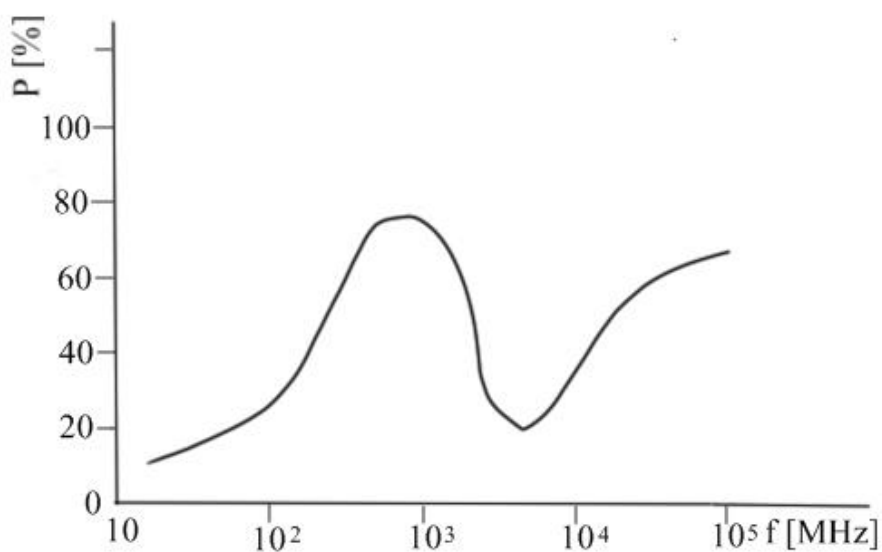
Pokud nestačí energie kvant elektromagnetického záření ionizovat nebo disociovat molekulu, případně změnit strukturu molekul ve tkáni nebo spustit chemickou reakci projeví se absorpce fotonů jen zrychleným pohybem molekul tkáně a tedy růstem teploty. Tepelný efekt závisí na tvaru a rozměrech struktur a také na termoregulačním mechanismu. Nejvíce se zahřívají málo vaskularizované tkáně, které jsou relativně hluboko. Dobře prokrvené orgány se zahřívají méně. Zvláště u očí a germinativního epitelu reprodukčních tkání se

tepelný účinek projevuje nejvíce. Po určité době se díky adaptaci vrací teplota tkáně k normálu, obrázek 2, [4], [6].



Obrázek 2 - Oteplení tkáně v závislosti na době expozice, [6]

Při celotělových modelových studiích respektujících konstituční parametry jedinců byla zjištěna závislost absorbovaného výkonu na frekvenci (obrázek 3), [6].



Obrázek 3 - Frekvenční závislost absorbovaného výkonu, [6]

2.2.2 Netepelné účinky

Při netepelných účincích vznikají ve tkáni iontové proudy, které mají původ v elektromagnetické indukci. Působením těchto proudů na buněčné membrány se mění jejich vlastnosti. Mění se i klidový a akční potenciál, tedy dráždivost. Indukční jevy se uplatňují na vodivých částech organismu: centrální a autonomní nervový systém, kardiovaskulární systém, sekreторický (vyměšující) aparát a endokrinní soustava. Pokud jsme dlouhodobě vystavováni účinkům elektromagnetického pole o malých výkonových hustotách, tak se to začíná projevovat na stavu CNS. Charakterizují to tělesné slabosti jako vyčerpanost, únava, poruchy spánku, bolesti hlavy apod. Objektivním zjištěním je potom zvýšená potivost, lámavost nehtů či padání vlasů, [7].

Tepelné účinky mohou být doprovázeny i vlastními účinky elektromagnetického pole. Potom je velmi složité odděleně vyhodnotit výsledný efekt tepelných a netepelných účinků. V poslední době se také pojem „tepelných a netepelných účinků“ nahrazuje pojmem „účinky na vysoké respektive nízké úrovni elektromagnetického pole“, [8].

2.3 Hygienické limity

Vláda České republiky vydala dne 12. prosince 2007 nařízení, jež vstoupilo v platnost 30. dubna 2008, ve které upravuje hygienické limity neionizujícího záření, metody a způsob jejich zjišťování a hodnocení a minimální rozsah opatření k ochraně zdraví při práci. Dále pak nejvyšší přípustné hodnoty expozice fyzických osob v komunálním prostředí vystavené neionizujícímu záření, způsob jejího zjišťování a hodnocení. Toto nařízení se nevztahuje na používání zdrojů neionizujícího záření, při kterém je pacient vystaven záření při poskytování zdravotní péče. Nařízení má rušící charakter a ruší tím tak nařízení vlády č. 480/2000 Sb. o ochraně zdraví před neionizujícím zářením, [9].

Ve druhé části této legislativní normy jsou vytyčeny podmínky ochrany zdraví při práci a při činnosti nebo poskytování služeb mimo pracovní poměr. V § 2 jsou pak stanoveny nejvyšší přípustné hodnoty expozice neionizujícím zářením.

Podle tohoto nařízení se rozumí, [9]:

- a) neionizujícím zářením statická magnetická a časově proměnná elektrická, magnetická a elektromagnetická pole a záření s frekvencemi od 0 Hz do $1,7 \cdot 10^{15}$ Hz,
- b) nejvyššími přípustnými hodnotami mezní hodnoty expozice, které vycházejí přímo z prokázaných účinků na zdraví z údajů o jejich

biologickém působení a jejichž dodržování zaručuje, že osoby, které jsou vystaveny neionizujícímu záření, jsou chráněny proti všem známým zdravotně škodlivým účinkům, referenčními hodnotami velikosti přímo měřitelných parametrů záření ve frekvenční oblasti od 0 Hz do $3 \cdot 10^{11}$ Hz, kterými jsou intenzita elektrického pole, intenzita magnetického pole, magnetická indukce a hustota zářivého toku.

Referenční hodnoty pro hustotu zářivého toku jsou uvedeny v tabulce č. 1 (veličina je použitelná jen pro postupnou vlnu, v reaktivní zóně zdroje je nutné použít referenční úroveň pro magnetickou indukci a intenzitu elektrického pole). Při překročení referenčních hodnot musí být proveden výpočet nebo měření podle § 3 odst. 1. Podle tohoto paragrafu se měření či výpočet provádí na modelech (fantómech) lidského těla nebo jeho částech. Případně se měří hodnoty intenzity elektrického pole, magnetické indukce, hustoty zářivého toku či konstantního a indukovaného proudu tekoucího kteroukoli končetinou. Naměřené hodnoty se srovnávají s referenčními úrovněmi těchto veličin, [9].

Paragraf 4 se zabývá hodnocením rizik neionizujícího záření. Ve frekvenční oblasti od 0 Hz do $3 \cdot 10^{11}$ Hz zaměstnavatel přihlíží zejména, [9]:

- a) intenzitě, frekvenčnímu spektru, trvání a typu expozice,
- b) k nejvyšším přípustným hodnotám a referenčním úrovním podle nařízení,
- c) ke všem účinkům na zdraví a bezpečnost obzvláště ohrožených zaměstnanců, zejména mladistvých zaměstnanců a těhotných zaměstnankyň,
- d) ke všem nepřímým účinkům (rušení elektronických a zdravotních přístrojů a zařízení),
- e) k expozici z několika zdrojů,
- f) k současné expozici polím s různými kmitočty.

Třetí část nařízení se dotýká podmínek ochrany zdraví ostatních osob. V místech, kde jsou překročeny referenční hodnoty v pásmu frekvencí 0 Hz – 300 Hz a jsou-li tato místa přístupna veřejnosti, pak musí být označena výstrahou upozorňující fyzické osoby používající kardiostimulátor na možné riziko, [9].

Měrný absorbovaný výkon

SAR (Specific Absorption Rate) je fyzikální veličina, která slouží k popisu absorpce výkonu živé tkáně vystavenou elektromagnetickým polím. Velmi přesně definuje míru expozice, ale obtížně se měří. Nejvyšší přípustné hodnoty měrného absorbovaného výkonu

jsou stanoveny nařízením vlády (tabulka 1). Nejvyšší přípustné hodnoty se vztahují na celkovou absorpci všech přítomných složek elektromagnetického pole v tkáni v intervalu frekvencí od 100 kHz do 10 GHz, [8], [9].

Tabulka 1 - Hygienické limity měrného absorbovaného výkonu, [9]

Měrný absorbovaný výkon - SAR – nejvyšší přípustné hodnoty			
Platí pro frekvence od 100000 Hz do 10^{10} Hz	SAR průměrovaný přes kterýkoliv šestiminutový interval a celé tělo	SAR průměrovaný přes kterýkoliv šestiminutový interval a pro kterýchkoliv 10 g tkáně s výjimkou rukou, zápěstí, chodidel a kotníků	SAR průměrovaný přes kterýkoliv šestiminutový interval a pro kterýchkoliv 10 g tkáně s výjimkou rukou, zápěstí, chodidel a kotníků
Zaměstnanci	0,4 W/kg	10 W/kg	20 W/kg
Ostatní zaměstnanci	0,08 W/kg	2 W/kg	4 W/kg

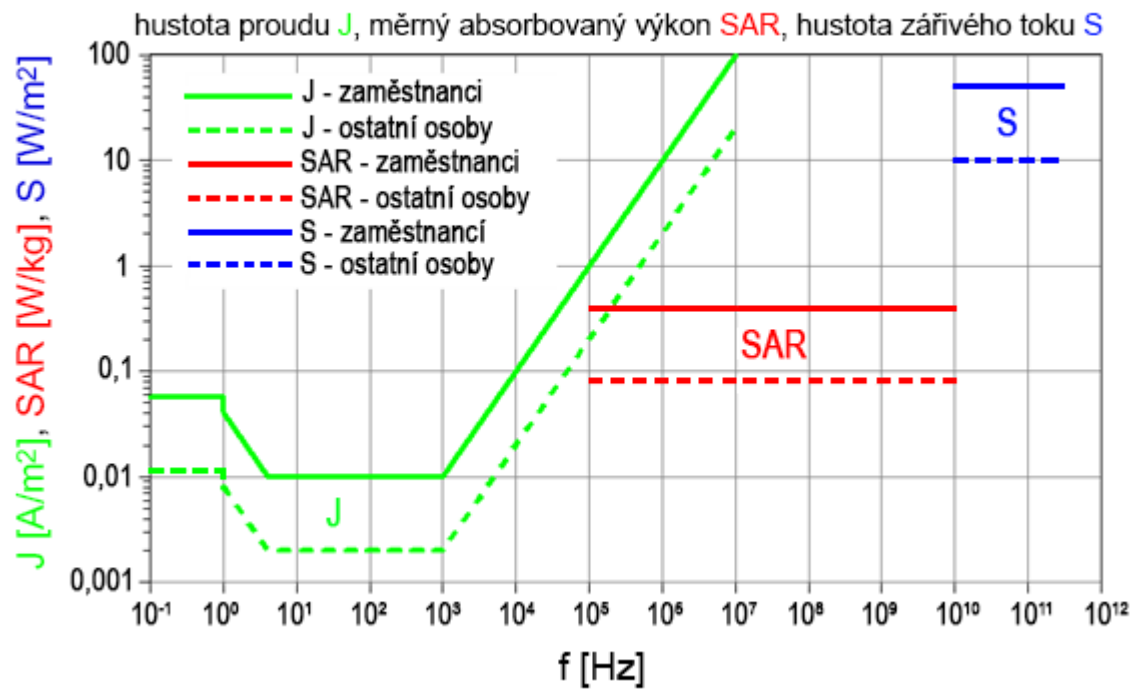
Hustota zářivého toku S

Hustota zářivého toku je definovaná jako tok energie dopadající kolmo k povrchu, dělený plochou tohoto povrchu. Referenční hodnoty hustot zářivého toku (Tabulka č. 2) jsou použitelné jen pro postupnou vlnu. V reaktivní zóně zdroje je nutné používat referenční úrovně pro magnetickou indukci B a intenzitu elektrického pole E, které jsou taktéž přesně definovány v nařízení vlády, [9].

Tabulka 2 - Hygienické limity hustoty zářivého toku, [9]

Referenční úrovně pro hustotu zářivého toku S - nepřetržitá expozice			
Zaměstnanci		Ostatní osoby	
Frekvence f [Hz]	S [W.m ⁻²]	frekvence f [Hz]	S [W.m ⁻²]
$10^7 - 4 \cdot 10^8$	10	$10^7 - 4 \cdot 10^8$	2
$4 \cdot 10^8 - 2 \cdot 10^9$	$f/4 \cdot 10^7$	$4 \cdot 10^8 - 2 \cdot 10^9$	$f/2 \cdot 10^8$
$2 \cdot 10^9 - 3 \cdot 10^{11}$	50	$2 \cdot 10^9 - 3 \cdot 10^{11}$	10

Nejvyšší přípustné hodnoty



Obrázek 4 - Nejvyšší přípustné hodnoty hustoty zářivého toku, SAR a hustoty proudu, [4]

3. Měření elektromagnetických polí

Antropogenní elektromagnetická pole jsou všude kolem nás. Jejich měření je tedy velmi důležité a to jednak z hlediska ekologického, kdy se budou měřit pole s ohledem na případnou možnost ohrožení zdraví obyvatel a zaměstnanců, kteří jsou vystavováni záření, a jednak z důvodů zjištění pokrytí sítí v dané oblasti. Toto měření by mohli provádět například komerční poskytovatelé mobilních sítí či poskytovatelé bezdrátového internetového připojení. Mohou existovat i jiné důvody pro měření elektromagnetických polí.

3.1 Měřicí přístroj EMR-30

Tento typ měřicího zařízení od společnosti Wandel & Goltermann (obrázek 5) slouží k monitorování elektromagnetických polí v rozsahu frekvencí od 100 kHz do 3 GHz. Jedná se tedy o širokopásmové měřicí zařízení. Maximální měření do 3 GHz je způsobeno sondou typu 8 (obrázek 5). Pokud bychom chtěli měřit vyšší frekvence, byl by zapotřebí jiný typ měřicího přístroje a jiný typ měřicí sondy. Výsledky měření jsou zobrazovány na displej a máme možnost výběru prezentace výsledků, kdy mohou být zobrazeny výsledky ve výkonové hustotě, síle elektrického anebo magnetického pole. Alternativní možností prezentace výsledků je zobrazení výkonové hustoty jako procento z mezní hodnoty, přičemž mez se pro každé měření může nastavit jiná. Měření lze provádět přímo v oblasti, kde se vyskytuje elektromagnetické pole, není nutné kalibrovat přístroj na speciálních místech. Kalibrace se provádí automaticky, [14].

Zařízení má paměť pro 1500 naměřených hodnot. Je možné ukládat jednotlivá měření či celé sekvence měření. Časový interval mezi dvěma po sobě následovanými naměřenými hodnotami lze nastavit v rozmezí 400 ms až 90 s (pouze módy „ACTUAL“ a „MAX“). Přístroj je napájen dvěma tužkovými bateriemi typu AA (1,2 V) s provozní dobou až 8 hodin, [14].

Přístroj je možné nastavit do několika režimů („Instantaneous“, „Average“ aj.) zobrazení naměřených hodnot. Sloupcový graf na spodní části displeje zobrazuje aktuální naměřenou hodnotu. Číslíci je potom zobrazena okamžitá nebo uložená hodnota v závislosti na režimu přístroje. Kalibrační faktor „CAL“ slouží ke kalibraci zobrazovaného výsledku. Další možností je nastavení limitní hodnoty „LIM“. Pokud dojde k překročení nastavené hodnoty je spuštěn automaticky alarm a obsluha přístroje je informována o tom, že došlo k překročení nastavené hodnoty, [14].

Zmíněné režimy lze využít při různých typech měření. Mohou jimi být krátkodobá, dlouhodobá a plošná měření. Krátkodobá měření se využívají v místech, kde neznáme

elektromagnetická pole. Jedná se o orientační měření. Dlouhodobá měření nalézají uplatnění při monitorování elektromagnetických polí na pracovištích. Využívají se při velkém kolísání hodnot polí. Konečně prostorová měření umožňují jednoduchá určení polí v dané oblasti, [14].

Ve vzdálených polích se z důvodu větší šířky pásma upřednostňuje použití sond elektrického pole. Typ sondy 8 lze využít pro měření při kmitočtech od 100 kHz do 3 GHz, tedy lze proměřit vyzařování elektromagnetického pole u přístroje pro diatermii a vysílací zařízení a antény v rozsazích TV, rozhlasu, mobilních telefonů. Typ sondy 9 (od 10 MHz do 18 GHz) se uplatní při měření antén v rozsazích používaných pro satelitní komunikaci a radary. Sonda typu 11 (do 60 GHz) se využívá v případech, kdy chceme pokrýt všechny kmitočtové aplikace, [15].

Pro samotné měření polí bychom mohli využít sondu typu 8 (obrázek 5). Sonda má tři rozměrovou, izotropní směrovou charakteristiku. Z toho plyne, že senzory v sondě měří pole ve všech prostorových souřadnicích, přičemž nezáleží na poloze přístroje, [15].

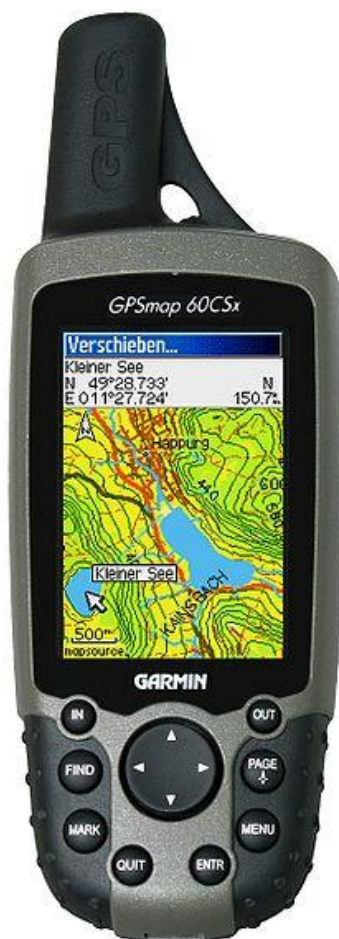


Obrázek 5 – Měřicí přístroj EMR-30 spolu se sondou typu 8, [16]

3.2 Garmin GPSMAP 60CSx

Pro zjištění polohy, kde probíhají jednotlivá měření lze využít téměř jakýkoli GPS přijímač, i ten, který je zabudován v mobilním telefonu. Důležitým aspektem je snadná manipulovatelnost a následná snadná práce s naměřenými daty.

Garmin GPSMAP 60CSx je outdoorový GPS přijímač. Může přijímat signál až z 24 satelitů. Ve výbavě nechybí elektromagnetický kompas či barometrický výškoměr. Výdrž je až 22 hodin. K počítači ho můžeme připojit pomocí USB (Universal Serial Bus). Data v podobě například bodů zájmů či tras lze ukládat jednak do vnitřní paměti, jednak na microSD datovou kartu. Mapy a samotná poloha se zobrazují na TFT (Thin Film Transistor) displeji, [17].



Obrázek 6 - GPS přijímač Garmin GPSMAP 60CSx, [17]

4. Geografický informační systém

Pojem GIS

Existuje více rovin, jak s termínem GIS pracovat, [10]:

- **GIS jako software** – chápán jako soubor programů pro budování GIS (analýza a správa prostorových dat).
- **GIS jako aplikace** – chápán jako informační systém geografického typu, využívající se pro zjednodušení plánování a rozhodování na úrovni určité organizační jednotky (městský úřad).
- **GIS jako technologie** – chápeme jako prostředí, ve kterém vznikají aplikace GIS, vytváří se systém standardů, provádí se aplikovaný výzkum apod.

Prozatím neexistuje plošně uznávaná definice GIS. Napříč jednotlivými odvětvími, která s GIS pracují, se konkrétní definice přizpůsobují požadavkům. Každá definice GIS by měla obsahovat základní komponenty GIS (hardware, software, data a organizační strukturu), základní funkce GIS (vstup, správa, analýza a prezentace dat) a systémový obsah (účel s důrazem na analýzu prostorových dat a jejich využití), [10].

4.1 Struktura GIS

Přístup ke členění GIS má každý autor vlastní. I když je členění vesměs různé, neměla by se opomenout vyváženost jednotlivých komponent, která je pro kvalitní funkci GIS nezbytná. Je možné rozdělení na složky, [11]:

4.1.1 Technické prostředky (hardware)

Zde se zahrnují dílčí počítačové komponenty (paměť, procesor, základní deska aj.), vstupní (GPS přijímač, skener, digitizér aj.) a výstupní zařízení (tiskárny, plotry aj.) a počítačové sítě, [10].

4.1.2 Programové prostředky (software)

Způsoby členění softwarových složek GIS je celá řada. Všeobecně se však uznává klíčová úloha geografické databáze nebo systému řízení této databáze. GIS jsou často tvořeny velkým počtem programových modulů. Schopnost ukládat a obhospodařovat prostorové údaje s použitím geografické databáze (jako jádro GIS) je nejdůležitější vlastností GIS. Existují různé typy modulů, [11]:

- **Moduly pro sběr (vstup) údajů** – umožňují konverzi a verifikaci informací, mezi zdroje patří mapy, senzorové vstupy a výsledky pozorování.
- **Moduly pro transformaci** (restrukturalizaci) – úlohou je měnit formu údajů beze změny obsahu. Patří sem generalizace map, změny měřítek aj.
- **Moduly pro prostorové analýzy** – umožňují dotazování a prohledávání geografické databáze, odvozené mapování resp. modelování procesů s použitím různých prostředků.
- **Zobrazovací moduly** – slouží k úpravám výsledků, manipulace s údaji a analýz. Mohou mít podoby map, diagramů či tabulek.
- **Uživatelské prostředí** – interpretuje příkazy uživatele a překládá je do formy pochopitelné systémem.

4.1.3 Geodata

Typicky jsou prostorové databáze budovány s použitím topografických údajů z národních geodetických a mapových agentur. K nim se připojují specifická data projektu. Geodata jsou pro potřeby významná zejména svým prostorovým aspektem a atributy, které k sobě poutají. Jedná se o vůbec nejnákladnější část GIS, [10], [11].

4.2 ArcGIS Desktop

ArcGIS je označení systému firmy ESRI (Environmental Systems Research Institute). Do tohoto systému náleží tři úrovně produktů a to ArcView, ArcEditor a ArcInfo. Všechny tři produkty mají jednotnou architekturu, tzn., že rozhraní, nástroje, metadata aj. mohou být vzájemně sdíleny. V ArcView můžeme načítat libovolná data, která jsou spojena s geografickými místy, a zobrazit je graficky jako mapy, grafy a tabulky. Data také můžeme editovat, měnit jejich způsob zobrazení, vytvořit svá vlastní data, a analyzovat informace staticky i prostorově. ArcEditor se příliš neliší od ArcView, jen má rozsáhlejší editační nástroje. ArcInfo má nejvíce funkcí, jsou zde analytické nástroje pro prostorové operace, [10], [12].

ArcView Uspořádání

ArcView ukládá mapy, grafy a tabulky do projektu, jenž je soubor pro organizaci všech informací. Projekty používají pět typů komponent nazývaných dokumenty pro uspořádání informací: zobrazení, jež představují množiny geografických dat jako interaktivní mapy. Tabulky, jež obsahují popisné informace o mapových prvcích, jsou spojeny se zobrazeními, která obsahují popisné prvky. Dalšími komponentami jsou grafy, výkresy a skripty, [12].

Všechny tři zmíněné produkty (ArcView, ArcEditor a ArcInfo) mají čtyři integrované aplikace. Jsou jimi ArcMap, ArcCatalog, ArcToolbox a Model Builder. Plus je možnost rozšíření o různé nadstavbové nástroje jako 3D Analyst, ArcScan, Maplex aj., [10].

4.2.1 ArcMap

Je to ústřední aplikace celého ArcView. V tomto prostředí se mohou editovat data, provádět prostorové analýzy a je možná i kartografická tvorba. Geografická data jsou v mapě zobrazována jako vrstvy, přičemž každá vrstva obsahuje pouze jeden typ dat (body, linie nebo polygon). Pro tvorbu map jsou zde přítomny režimy zobrazení a to datový náhled (data view), který umožňuje editaci mapových symbolů, analytické operace a organizace datových vrstev. Druhým režimem je režim mapový výkres (layout view), který zobrazuje výslednou mapu a je možné zobrazit také základní a nadstavbové kompoziční prvky mapy, [10], [12].

4.2.2 ArcCatalog

Je určen k organizaci a uspořádání dat používaných v GIS. Patří sem datové sady, geodatabáze, modely, metadata aj. Umožňuje náhledy těchto dat před jejich otevřením. V tomto prostředí ovšem není umožněno ovlivňovat kompozici map jak tomu je v ArcView. Součástí jsou nástroje pro vyhledávání a prohlížení geografických dat, správa a prohlížení metadat, návrh geodatabází a další, [10], [12].

4.2.3 ArcToolbox

Aplikace obsahuje velké množství nástrojů pro analýzu a zpracování prostorových dat. Je vždy vnořen do předchozích dvou aplikací. Obsahuje i nástroje pro správu dat, konverzi dat, vektorové analýzy a statistické analýzy. Do této aplikace mohou být přidány další nástroje vytvořené uživatelem, [10], [12].

4.2.4 Model Builder

Tato aplikace zjednodušuje práci při sdílení metod a procedur v rámci úkolů. V prostředí je možné s pomocí diagramů postupů zpracování dat algoritmizovat celou proceduru zpracování dat. Práce spočívá ve vytváření posloupnosti kroků (na základě přetahování nástrojů a datových sad do vznikajícího modelu), čímž celou práci urychlíme, [10]

4.2.5 Nadstavby

Nadstavby jsou určeny k řešení sofistikovanějších úkolů v rámci zpracování geodat. Nadstavby je možné přidat do všech úrovní ArcGIS Desktop. Mezi nadstavby patří například, [10]:

- **3D Analyst** – ten umožňuje práci s rastrovými daty a tvorbu trojrozměrných dat. Součástí jsou aplikace ArcScene a ArcGlobe. ArcScene zobrazuje data na základě jejich průběhu např. hladina podzemní vody a umožňuje jejich 3D vizualizaci. ArcGlobe sjednocuje pohled na geodata a umožňuje integrovat nesourodé datové sady.
- **ArcScan** – podpora tvorby vektorových prvků z rastrových dat.
- **Spalit Analyst** – ten dovede analyzovat spojitě proměnná data např. nadmořská výška, interpolovat naměřené hodnoty, analyzovat terén apod.
- **Tracking Analyst** – je nástroj pro analýzu a vizualizaci časových změn mezi současnými a historickými daty.

4.3 Reprezentace světa v GIS

GIS nepracuje s reálnými objekty jako takovými, ale s jejich zjednodušenou podobou (reprezentací). Reprezentaci reálného světa v počítači představují digitální data, s jejichž pomocí se tvoří model reality. Jsou čtyři základní úrovně zjednodušené reality, [10]:

- **Reálný svět** – jevy a objekty přítomné ve své skutečné podobě v krajině sféře.
- **Datový model** – zahrnuje vlastnosti reálného světa, nezbytné pro řešení úkolu.
- **Datová struktura** (databázová reprezentace) – reprezentuje datový model v databázi.
- **Struktura datového souboru** – určuje specifický model uložení dat.

4.3.1 Geografická data

Součástí reálného světa, který pro potřeby GIS zjednodušujeme, jsou prostorové objekty. Pro naše potřeby uvažujeme objekty těchto dimenzí, [10]:

- **Bezrozměrné (0D)** – objekty mají definovanou polohu, nemají však délku ani plochu.
- **Jednorozměrné (1D)** – liniové objekty, mají jen délku (řeky, dálnice aj.)

- **Dvourozměrné (2D)** – plošné objekty, mají délku i šířku
- **Trojrozměrné (3D)** – objekty mají délku, šířku, výšku či hloubku

Typy geografických dat

Vyjádření a popis geoprvků (základní prostorový objekt, který je dále nedělitelný) a následně pak hierarchie typů geografických dat je založena na dvou různých typech digitálních dat. Jsou to **grafická data** (prostorová) a **negrafická data** (neprostorová) – atributy, [10].

Grafická data slouží k popisu prostorového umístění a vzájemných vztahů jednotlivých geoprvků, dále se dělí na data topologická (popis vztahů geoprvků a jejich částí – spojení, dotyk, vnoření a orientace) a geometrická (k jejich zápisu se užívají dva datové modely - vektorový a rastrový), [10].

Negrafická data slouží k popisu dílčích geoprvků. Mají formu názvu, rozměru, objemu apod. Jsou vyjádřena textem, celým či reálným číslem, [10].

4.3.2 Datové modely

Geografické objekty jsou v počítačových GIS prezentovány jen první pohled podobě jako v mapách, tedy body, čáry a plochy. Pro efektivní počítačové využití jsou tyto elementy reprezentující objekty organizovány naprosto jinak, než je tomu v klasických mapách, [11].

V zásadě existují dva základní způsoby reprezentace údajů v GIS, vycházejících z protikladných možností modelování prostoru, [13]

Vektorová (implicitní) reprezentace

K definování objektů se používají soubory souřadnic a připojená tematická data. Soubory souřadnic stanovují polohu a ohraničení diskrétního objektu. Tematická data popisují vektorové objekty, které představují základní objekty reálného světa. Základními prvky vektorových dat jsou, [13]

- **Body** – ty jsou určeny párem souřadnic, představují základní objekty, které jsou pokládány za „bezrozměrné“. Příslušná tematická data pak k těmto bodům připojují důležité informace.
- **Liniové objekty** – ty jsou často označovány jako oblouky, protože málokdy se jedná o přímou linii, která může být určena dvěma páry souřadnic. Nejčastěji

se jedná o různé křivky složené ze sekvence přímých segmentů. Tematické údaje mohou být přiřazeny celé křivce nebo jen úseku.

- **Plošné útvary** – bývají zobrazeny jako plošné polygony. Polygony bývají ohraničené soustavami linií.

Rastrová (explicitní) reprezentace

Rastrové datové modely zobrazují svět jako pravidelnou soustavu buněk. Ty bývají obvykle čtvercové, [13].

Rozměry buněk jsou obvykle udávány v rozměrech zobrazovaného reálného povrchu. Buňky mají své jedinečné adresy dané jejich sloupcovými a řádkovými indexy. Rozměr buněk má vliv na prostorovou přesnost zobrazované skutečnosti. Obecně platí, že polohová přesnost určení polohy nemůže být lepší než polovina celé buňky, [13].

Mimo buňky je dalším charakteristickým údajem u rastrového zobrazení rozlišení hodnot sledovaného atributu. V nejjednodušším případě se rozeznává přítomnost resp. nepřítomnost atributu, [13].

5. Měření, tvorba mapy, analýza

V této kapitole bude pojednáno o postupu měření, zprovoznění, nastavení přístroje a podmínkách, za kterých se měření s přístrojem EMR-300 provádí. Taktéž zde bude zmíněna práce s GPS přijímačem. Poslední část je věnována samotné tvorbě vektorové mapy a analýze získaných dat.

5.1 Postup měření

Před samotným měřením hustoty výkonu ve zvolené oblasti je zapotřebí do zdířky (speciální dvanáctipólová typu LEMO) přístroje zasunout vybranou sondu. Pro kontrolu správnosti zasunutí je na přístroji a sondě červený bod, bod na sondě má směřovat k bodu na zdířce přístroje. Po zapnutí měřicího přístroje tlačítkem ON/OFF se na displeji objeví hlášení o typu sondy a jejím provedení. Po kontrole stavu napětí na baterii, jež je indikováno čtyřstupňovým sloupcovým grafem, bylo možné přistoupit k samotnému měření.

Během měření bylo nutné dbát na pokyny a doporučení obsažené v uživatelské příručce. Jedním z doporučení je, že by se měl přístroj držet v napřažené ruce a neměly by se s ním dělat příliš prudké pohyby. V opačném případě přístroj zaznamenává příliš vysoké a nesmyslné hodnoty, které neodpovídají skutečnosti (tvorba elektrostatického náboje), což bylo i v terénu odzkoušeno. I když je přístroj po konstrukční stránce navržen tak, aby tyto nežádoucí efekty byly eliminovány, je vždy dobré před měřením nechat přístroj na malý moment ustálit a tím i zajistit korektnost měření.

Hodnoty se získávaly z několika desítek bodů měření, protože rozložení pole v prostoru není homogenní, respektive je homogenní jen v ojedinělých případech, což není naše situace.

Byl využit manuální mód Spatial k určení průměrné hodnoty hustoty výkonu. Krátkým stisknutím tohoto tlačítka (na přístroji označeno Spatial a pod ním Clear) se spustí ruční snímání měřených hodnot. Následuje nastavení jednotek, kdy se tlačítkem mW/cm^2 nastaví jednotky pro výkonovou hustotu. Teď už stačí jen mačkat tlačítko Spatil ve zvolených bodech v prostoru a měřit tak aktuální efektivní hodnotu hustoty výkonu. Měřené hodnoty se po stisknutí tlačítka ukládají do paměti. Uložené hodnoty se dají prohlížet po dlouhém stisknutí tlačítka MEM.

Současně s měřením hodnot hustoty zářivého toku se pomocí GPS přijímače zaznamenávala geografická poloha pomocí tlačítka Mark.

5.1.1 Data z měření

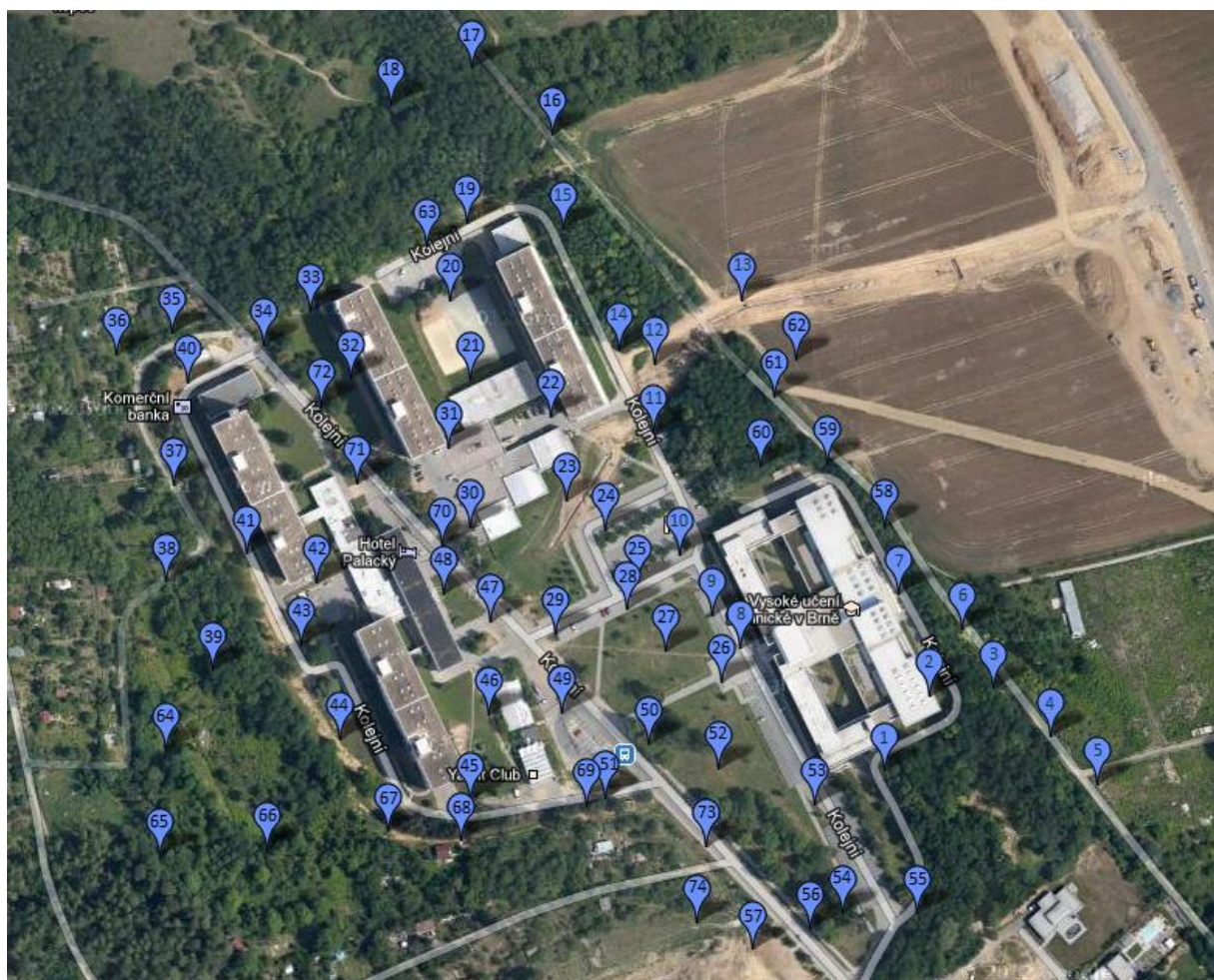
Data uložená v interní paměti měřicího přístroje EMR-30 byla získána opisem. Pro získání dat elektronickou cestou by šlo využít optické rozhraní, které přístroj nabízí. Tímto rozhraním a přiloženým softwarem lze řídit jednotlivá i průběžná měření a analyzovat data.

Jiný postup nastal v případě získávání dat z GPS přijímače Garmin. Ruční opisování dat o geografické poloze by zabralo příliš mnoho času a tak byl využit software (<http://www.dnr.state.mn.us/mis/gis/index.html>), pomocí kterého lze vyexportovat data z GPS přijímače do shapefilu. Tento soubor lze následně přidat do ArcMap jako novou vrstvu.

Tabulka 3 - Naměřené hodnoty hustot zářivého toku S [W/m²]

měření	hustota zářivého toku S [W/m ²]	datum měření	měření	hustota zářivého toku S [W/m ²]	datum měření
1	0,0001	26. 3. 2013	38	0,0001	26. 3. 2013
2	0,0002	26. 3. 2013	39	0,0001	26. 3. 2013
3	0,0003	26. 3. 2013	40	0,0001	26. 3. 2013
4	0,0004	26. 3. 2013	41	0,0000	26. 3. 2013
5	0,0004	26. 3. 2013	42	0,0000	26. 3. 2013
6	0,0004	26. 3. 2013	43	0,0004	26. 3. 2013
7	0,0003	26. 3. 2013	44	0,0003	26. 3. 2013
8	0,0046	26. 3. 2013	45	0,0001	26. 3. 2013
9	0,0028	26. 3. 2013	46	0,0004	26. 3. 2013
10	0,0055	26. 3. 2013	47	0,0043	26. 3. 2013
11	0,0014	26. 3. 2013	48	0,0016	28. 3. 2013
12	0,0012	26. 3. 2013	49	0,0004	28. 3. 2013
13	0,0012	26. 3. 2013	50	0,0012	28. 3. 2013
14	0,0002	26. 3. 2013	51	0,0009	28. 3. 2013
15	0,0001	26. 3. 2013	52	0,0007	28. 3. 2013
16	0,0005	26. 3. 2013	53	0,0015	28. 3. 2013
17	0,0002	26. 3. 2013	54	0,0003	28. 3. 2013
18	0,0003	26. 3. 2013	55	0,0003	28. 3. 2013
19	0,0020	26. 3. 2013	56	0,0002	28. 3. 2013
20	0,0015	26. 3. 2013	57	0,0002	28. 3. 2013
21	0,0004	26. 3. 2013	58	0,0003	28. 3. 2013
22	0,0005	26. 3. 2013	59	0,0014	28. 3. 2013
23	0,0028	26. 3. 2013	60	0,0007	28. 3. 2013
24	0,0075	26. 3. 2013	61	0,0011	28. 3. 2013
25	0,0073	26. 3. 2013	62	0,0010	28. 3. 2013
26	0,0013	26. 3. 2013	63	0,0003	28. 3. 2013
27	0,0022	26. 3. 2013	64	0,0001	28. 3. 2013
28	0,0076	26. 3. 2013	65	0,0000	28. 3. 2013
29	0,0023	26. 3. 2013	66	0,0001	28. 3. 2013

30	0,0111	26. 3. 2013	67	0,0003	28. 3. 2013
31	0,0046	26. 3. 2013	68	0,0008	28. 3. 2013
32	0,0011	26. 3. 2013	69	0,0007	28. 3. 2013
33	0,0001	26. 3. 2013	70	0,0073	28. 3. 2013
34	0,0001	26. 3. 2013	71	0,0004	28. 3. 2013
35	0,0001	26. 3. 2013	72	0,0003	28. 3. 2013
36	0,0001	26. 3. 2013	73	0,0002	28. 3. 2013
37	0,0001	26. 3. 2013	74	0,0002	28. 3. 2013



Obrázek 7 - Mapa s místy měření elektromagnetického pole

5.2 Tvorba mapy zájmové oblasti

Před samotnou analýzou naměřených dat je potřeba vytvořit mapu vybrané lokality v prostředí geografického informačního systému, respektive přímo v ArcMap.

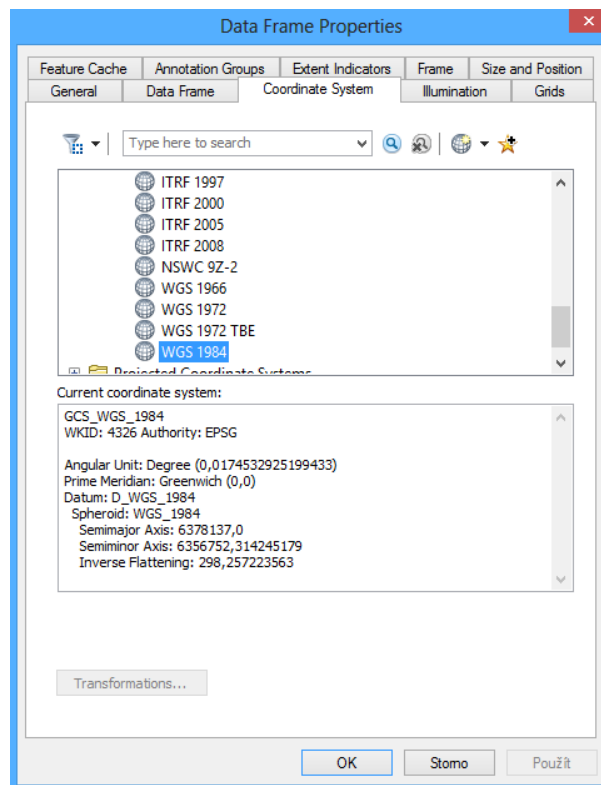
5.2.1 Výběr souřadnicového systému

Znalost souřadnicového systému je velice důležitým předpokladem pro korektní zobrazení prostorových dat v programových aplikacích GIS, [18].

Prostorová data mají jednoznačnou referenci na polohu v prostoru. Jsou dvě hlavní pojetí při určení polohy při referenci. Tím prvním je vyjádření polohy pomocí geokódu, což je nepřímé vyjádření polohy v prostoru, anebo se užívá přímo souřadnicového systému, což je přímé vyjádření polohy v prostoru. V současné době se po celém světě využívá velké množství různých souřadnicových systémů. V této práci je využito přímého vyjádření polohy, které je realizováno zobrazením části zemského povrchu do roviny, [18].

Používaný GPS přijímač pracuje se souřadnicovým systémem WGS_1984 (World Geodetic System). K tvorbě mapy elektromagnetických polí je využíván tento souřadnicový systém. Není ovšem podmínkou použít tento systém. Pro tvorbu mapy by se daly využít i jiné projekční souřadnicové systémy jako například Souřadnicový systém jednotné trigonometrické sítě katastrální (S-JTSK) nebo Evropský terestrický referenční systém (ETRS).

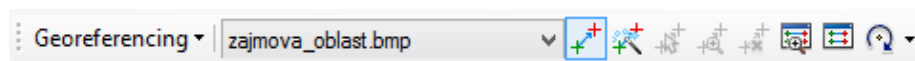
Na obrázku č. 8 jde vidět samotný výběr souřadnicového systému, ke kterému se dá přistupovat po kliknutí pravého tlačítka myši na *Layers* (název se dá libovolně měnit) v datovém okně projektu a výběru *Properties*. Po otevření okna se přesuneme na záložku *Coordinate System*, kde vybereme typ souřadnicového systému.



Obrázek 8 - Výběr souřadnicového systému

5.2.2 Georeferencování

Předlohou pro tvorbu vektorové mapy zájmového území je letecký snímek získaný z portálu Mapy.cz, který je veřejně dostupný. Tato fotografie obsahuje obrazová data a ta jako taková neobsahují informace o zeměpisném rozložení snímku, proto je důležité správně určit reálnou polohu snímku na zemském povrchu. Bez této znalosti by se jen těžko dělala analýza získaných dat. K určení správné polohy slouží funkce *Georeferencing*, která se nachází v nástrojové liště (obrázek č. 9).



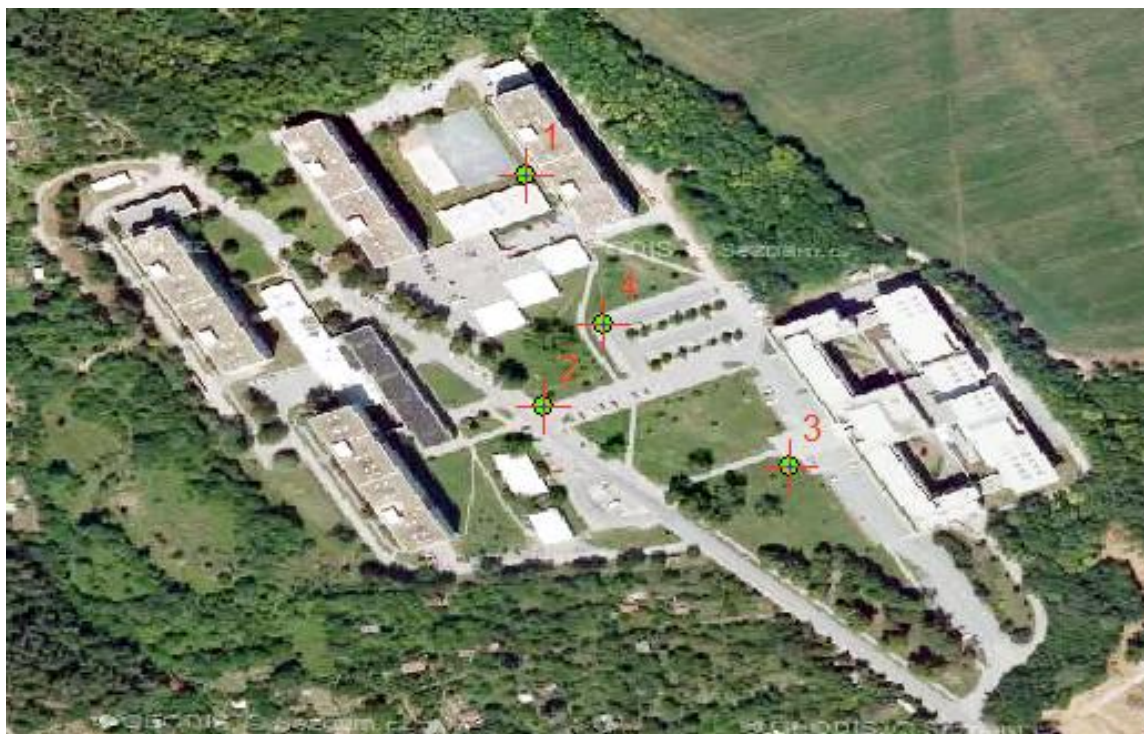
Obrázek 9 - Nástroj Georeferencing s vybranou vrstvou k referencování

Georeferencování je metoda spočívající v nalezení shodných bodů v naskenované, vyfocené a jiné mapě, která nemá geografické souřadnice a ve vrstvě, která má dány geografické souřadnice. Probíhá to za pomoci tzv. vlíčovacích bodů, kdy známe souřadnice těchto bodů, a srovnáním těchto vlíčovacích bodů s polohou totožných bodů na

negeoreferencované mapě. Vhodnými body mohou být například vrcholky hor, rohy budov či sídla značená bodem. Důležité je si vybrat takové body, které se nemění s časem, [20].

U vybraných referenčních bodů byla jejich souřadnice zjištěna na serveru Mapy.cz. Body byly zvoleny tak, aby se lehce daly určit na snímku. Jednalo se o rohy křižovatek, roh parkoviště a roh hřiště. Nástrojem *Go To XY* byly vyneseny body s konkrétní souřadnicí do prostředí ArcMap. Na těchto pozicích se objevily zelené body. Po vložení leteckého snímku referenční body nelícovaly s polohami jednotlivých vybraných objektů na snímku (roh parkoviště, rohy křižovatek, roh hřiště). Bylo nutné propojit referenční body s vybranými objekty v rastrové mapě. Toho docílíme nástrojem *Add Control Points* v liště pro *Georeferencing*, kdy klikneme na zvolená místa v rastrové mapě a na vyneseny referenční bod. ArcMap sám transformuje rastrovou mapu na danou souřadnici. Toto opakujeme i pro zbývající zvolené objekty a referenční body. Výsledný georeferencovaný snímek se čtyřmi referenčními body je na obrázku č. 10.

Důležitým aspektem pro přesnost této metody je rozmístění referenčních bodů. Body by měly být rozprostřeny po celé mapě a jejich minimální počet by měl být 3, dle zvoleného stupně polynomu (funkce, jejíž význam spočívá v převádění nerektifikovaných prostorových souřadnic obrazu na rektifikované). Podle toho, který stupeň polynomu zvolíme, dochází k deformaci obrazu při georeferencování, [19]. V této práci byla použita transformace prvního řádu.

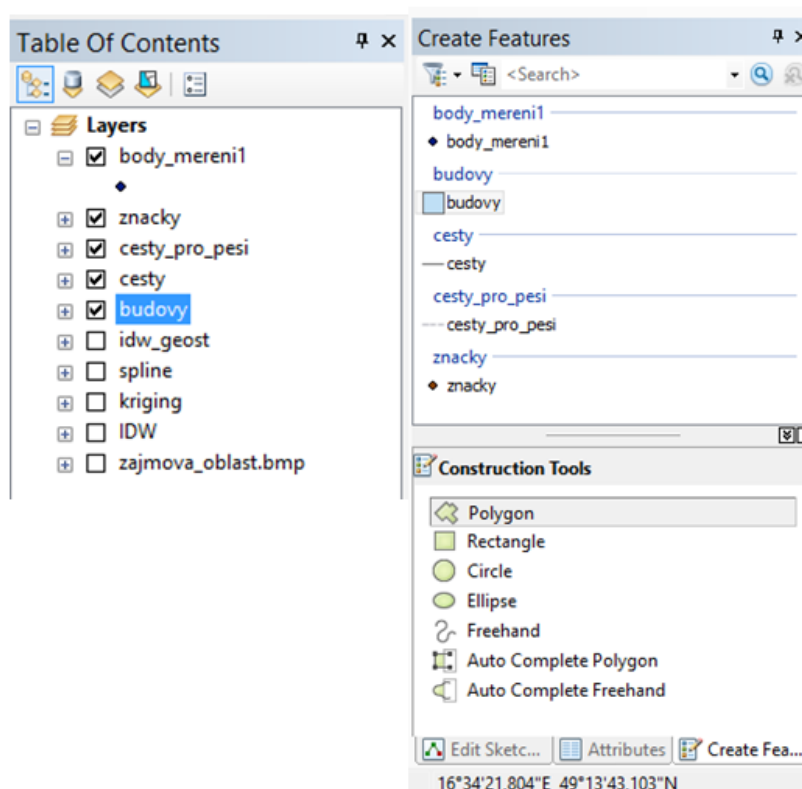


Obrázek 10 - Georeferencovaný letecký snímek

5.2.3 Tvorba vektorové mapy

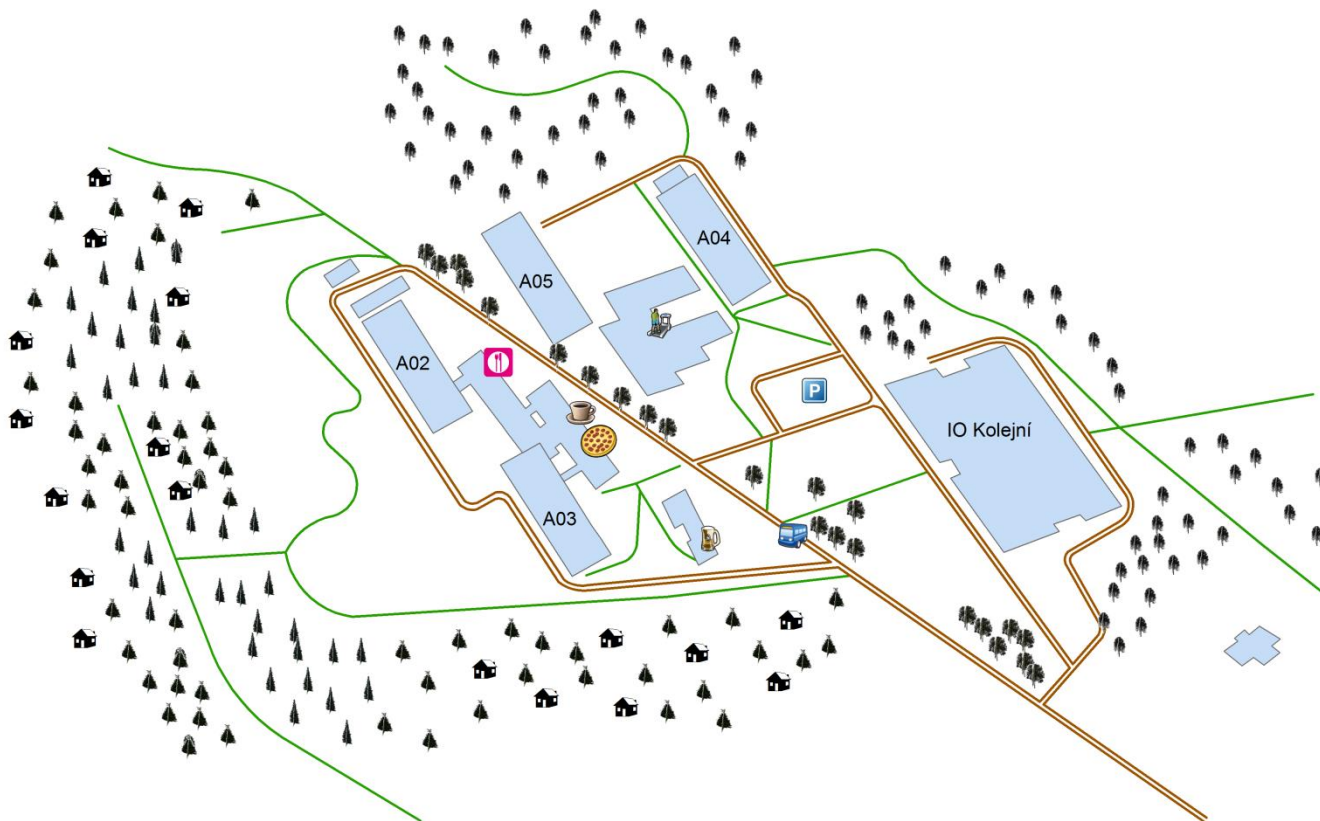
Po správném určení polohy snímku na zemském povrchu můžeme přistoupit k vektorizaci zájmové oblasti. Pro jednotlivé vrstvy vektorové mapy jako například pro cesty, budovy, značky (parkoviště, zastávka autobusu aj.) musíme v programu ArcCatalog vytvořit zdrojové soubory tzv. shapefily. Těmto souborům přiřadíme názvy a zvolíme, o jaký typ se jedná. Pro linie (v našem případě cesty) se užívá typ polylinie, pro plošné objekty (v našem případě budovy) se užívá typ polygon a nakonec pro body (v našem případě značky) se užívá typ point. Datový soubor pro body měření se nemusí vytvářet, protože program, který exportoval souřadnice z GPS přijímače, umí data uložit ve formě shapefilu. Jednotlivé vrstvy mají vlastní atributovou tabulku. V případě potřeby je možné v ArcMap tabulky upravovat a přidávat nová data.

Po vytvoření datových souborů stačí spustit ArcMap a vložit tyto soubory. To se provádí pravým kliknutím na vrstvu (*Layers*) a *Add Data*. Teď už stačí jen započít editaci pomocí nástroje *Editor* a *Start Editing*. Vybereme vrstvu, kterou chceme upravovat například budovy a zvolíme typ obrazce (obrázek č. 11). Takto postupujeme i u dalších vrstev s tím rozdílem, že tvoříme jiné obrazce, například linie či body. Editace vytvořených obrazců jako například rozdělení polygonu – *Cut Polygons Tool*, rotace objektu – *Rotate Tool* aj. se provádí pomocí nástrojů v nástrojové liště.



Obrázek 11 – Výběr vrstvy a typ obrazce

Výsledná vektorová mapa vytvořená v programu ArcMap je na obrázku č. 12. Obsahuje vrstvu budov, pozemní komunikaci, cesty pro pěší, naznačená místa zalesnění a značky v podobě parkoviště, autobusové zastávky aj.



Obrázek 12 - Výsledná vektorová mapa zájmové oblasti

5.2.4 Vložení naměřených dat

Jednou z možností vložení naměřených dat k bodům měření je úprava atributové tabulky bodů měření při vypnuté editaci. Do nového sloupce se k odpovídající souřadnici napíše změřená hodnota hustoty zářivého toku S. Další možností je přidání nového sloupce do atributové tabulky přímo z excelového souboru. K tomuto stačí jen pojmenovat první sloupec podle názvu sloupce v atributové tabulce, dle kterého se tabulky spojí. Ted stačí jen v ArcMap vybrat vrstvu (body měření). V nabídce najdeme *Join and Ralates* a vybereme *Join*. Otevře se dialogové okno *Join Data*, kde ve vrchní nabídce vybere *Join attributes from a table*. Zvolíme název sloupce z atributové tabulky, pomocí kterého se propojení uskuteční. Vybere excelový soubor a list s daty pro připojení. Z obrázku č. 13 je patrné připojení naměřených hodnot z excelového souboru do atributové tabulky bodu měření (poslední sloupec s názvem hustota zářivého toku), [23].

FID	Shape *	type	ident	Latitude	Longitude	y proj	x proj	FID propoi	Hustota zářivého toku
0	Point ZM	WAYPOIN	118	49,230427	16,573833	49,230427	16,573833	0	0,0001
1	Point ZM	WAYPOIN	119	49,230767	16,574159	49,230767	16,574159	1	0,0002
2	Point ZM	WAYPOIN	120	49,230794	16,574585	49,230794	16,574585	2	0,0003
3	Point ZM	WAYPOIN	121	49,230586	16,574977	49,230586	16,574977	3	0,0004
4	Point ZM	WAYPOIN	122	49,23037	16,575292	49,23037	16,575292	4	0,0004
5	Point ZM	WAYPOIN	123	49,231069	16,574359	49,231069	16,574359	5	0,0004
6	Point ZM	WAYPOIN	124	49,231228	16,573911	49,231228	16,573911	6	0,0003
7	Point ZM	WAYPOIN	125	49,230981	16,572829	49,230981	16,572829	7	0,0046
8	Point ZM	WAYPOIN	126	49,231135	16,572634	49,231135	16,572634	8	0,0028
9	Point ZM	WAYPOIN	127	49,231407	16,572408	49,231407	16,572408	9	0,0055
10	Point ZM	WAYPOIN	128	49,231948	16,572225	49,231948	16,572225	10	0,0014
11	Point ZM	WAYPOIN	129	49,232269	16,572228	49,232269	16,572228	11	0,0012
12	Point ZM	WAYPOIN	130	49,232555	16,572844	49,232555	16,572844	12	0,0012
13	Point ZM	WAYPOIN	131	49,23232	16,571978	49,23232	16,571978	13	0,0002
14	Point ZM	WAYPOIN	132	49,232874	16,571614	49,232874	16,571614	14	0,0001
15	Point ZM	WAYPOIN	133	49,233305	16,571538	49,233305	16,571538	15	0,0005
16	Point ZM	WAYPOIN	134	49,233606	16,570985	49,233606	16,570985	16	0,0002
17	Point ZM	WAYPOIN	135	49,233437	16,570419	49,233437	16,570419	17	0,0003
18	Point ZM	WAYPOIN	136	49,232902	16,570953	49,232902	16,570953	18	0,002
19	Point ZM	WAYPOIN	137	49,232542	16,57084	49,232542	16,57084	19	0,0015

Obrázek 13 - Atributová tabulka s propojenými naměřenými hodnotami

5.3 Analýza získaných dat

Analýzu naměřených dat lze uskutečnit díky nadstavbám programu ArcGIS. Jedná se o nadstavby Spatial Analyst, 3D Analyst a Geostatistical Analyst. Nastavení interpolačních metod je pro 3D Analyst a Spatial Analyst totožné. Obě nadstavby nabízí metody Natural Neighbor (metoda přirozeného souseda), IDW (Inverse Distance Weighting – inverzní vážení), Spline, Kriging a Topo To Raster (speciální metoda ArcGIS). Nadstavba Geostatistical Analyst má obdobné metody s tím rozdílem, že je zde možnost nastavení více parametrů oproti předešlým nadstavbám, přičemž průvodce nastavením celou práci zjednodušuje.

Analýza dat v prostoru se uskutečňuje pomocí měření jevu v lokalitách a následném odhadu daného jevu v celé ploše (oblasti). Tento odhad nám zajistí interpolace. V prostorové analýze se tedy odvozuje hodnota jevu ve všech místech plochy z hodnot měření ve vybraných místech, [20].

Z matematicko-statistického hlediska existují dvě skupiny interpolačních metod, přičemž obě patří do metod geostatistických:

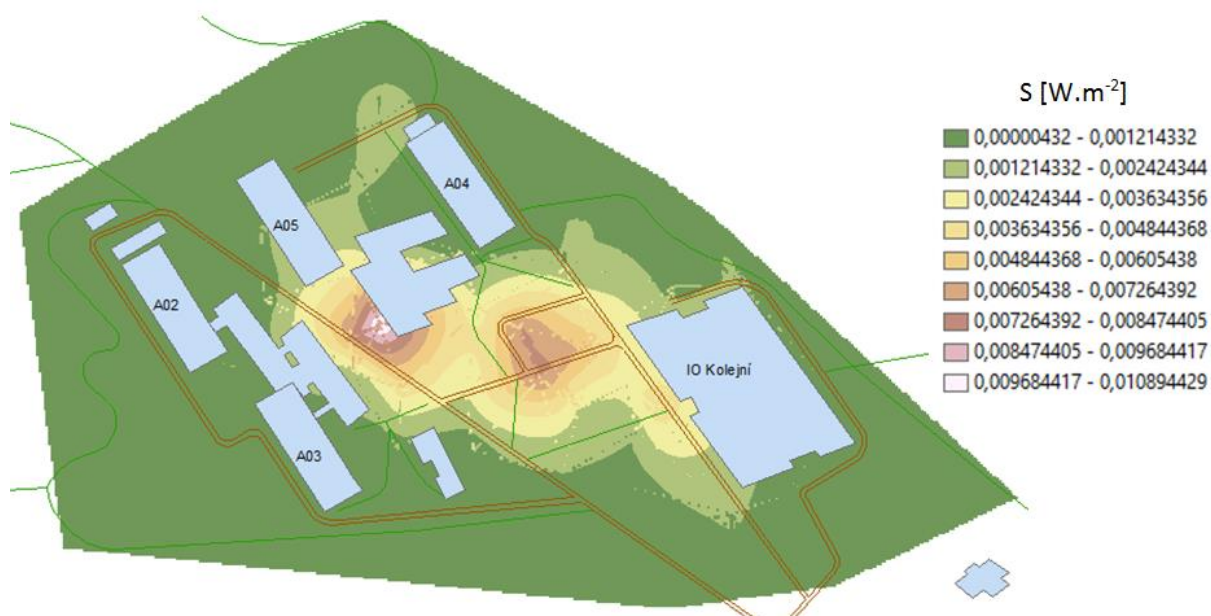
- Deterministické metody – interpolace se provádí z naměřených hodnot, nezasahuje zde teorie pravděpodobnosti. Patří sem například metoda IDW nebo metoda přirozeného souseda.

- Stochastické metody – zde vystupuje prvek náhodnosti. Vytvořená prostorová predikce může být jednou z mnoha. Patří sem metoda Kriging.

5.3.1 Metoda přirozeného souseda

Tato metoda využívá pro určení vah Voronoiovy polygony (každý obsahuje jeden měřený bod), ty jsou tvořeny na základě bodové vrstvy. Po přidání interpolovaného bodu do sítě polygonů nastane přetvoření polygonů v okolí tohoto bodu. Vzniká původní a nová síť. Polygony nového bodu překrývají části původního polygonu měřených bodů a jsou nazývány přirozenými sousedy. Váhy přirozených sousedů jsou plochami odděleny z původních polygonů jednotlivých sousedů, [21].

Metoda je efektivní za předpokladu, že jsou naměřené body pravidelně rozmístěny.

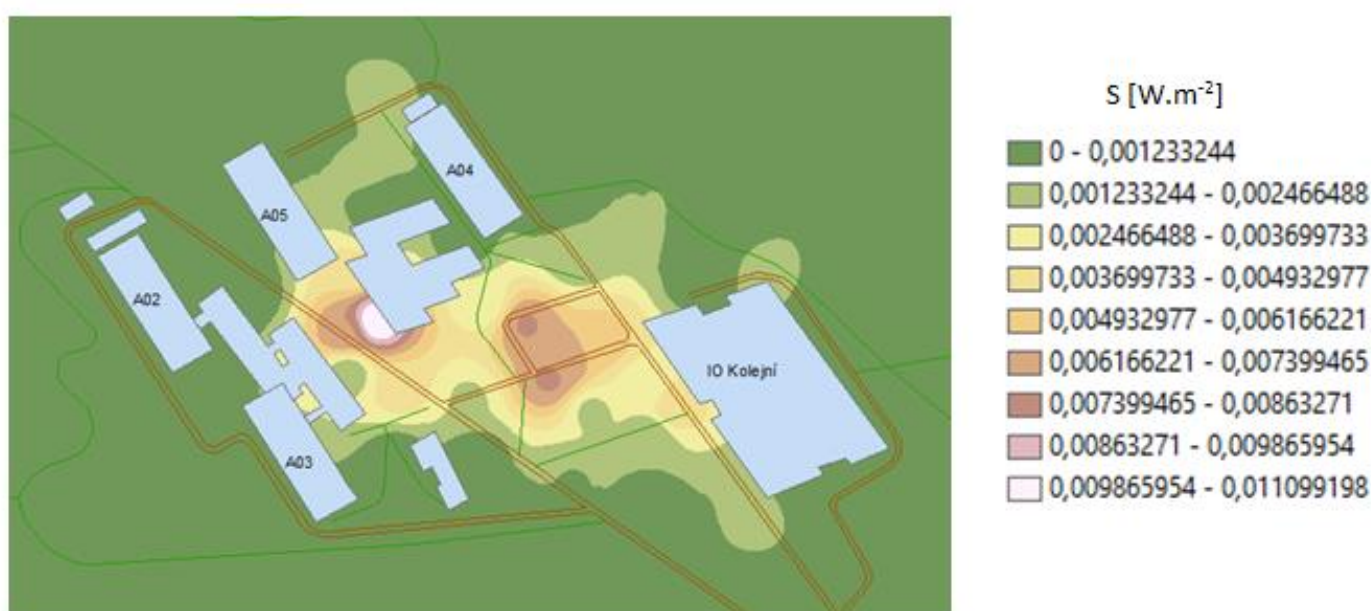


Obrázek 14 - Interpolace pomocí metody přirozeného souseda

Tato metoda není v našem případě nejvhodnější, což jde vidět na obrázku č. 14. Ve výsledné vytvořené vrstvě se objevují místa, kde je celistvý charakter narušen bodovými změnami. Asi nejmarkantněji to jde vidět v místě s největší hodnotou hustoty zářivého toku (bílá barva u budovy A05). Je to způsobeno rozmístěním bodů měření.

5.3.2 Metoda IDW

Při této metodě jsou data vážena vzdáleností bodu od ostatních. Čím vyšší je váha, tím menší je ovlivnění ostatními body. Síla váhy klesá se vzrůstající vzdáleností od bodu. Dalo by se říci, že jevy, které jsou v prostoru blíže sobě, jsou si více podobné, než jevy vzdálené. Nevýhodou této metody je, že nejsou tvořeny hladké plochy v případě nastavení nízké síly (v průvodci nastavením IDW označeno jako *Power* – vliv známé hodnoty na neznámou v závislosti na vzdálenosti), rovněž nejsou vypočítány hodnoty vyšší nebo nižší než jsou naměřené hodnoty. Nejsou-li známy hodnoty bodů v místech s extrémy, tak dochází ke zkreslení v těchto místech, [20], [21], [22].



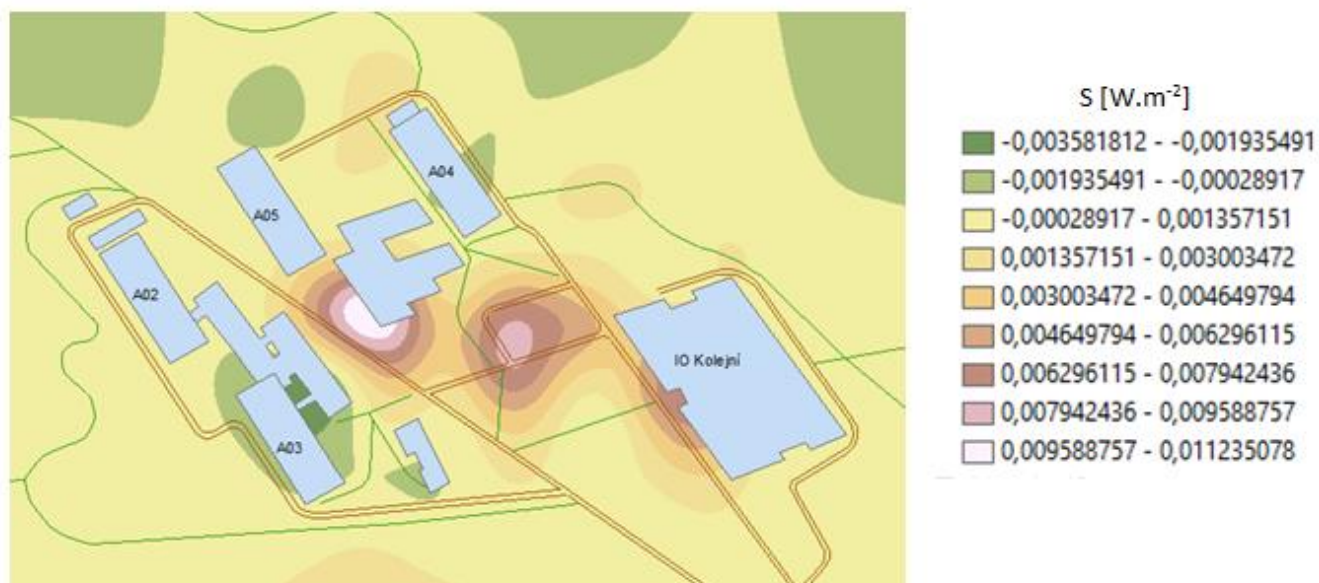
Obrázek 15 – Mapa elektromagnetický polí, při níž byla využita metoda IDW se silou 3

Tato metoda je vhodnější oproti metodě předešlé. Jde vidět velký vliv bodů měření v blízkosti budovy A05 a také vliv bodů u budovy IO Kolejní.

5.3.3 Spline

Jedná se o deterministickou interpolační metodu využívající matematické funkce pro odhad neznámých hodnot. Při této metodě musí být splněny dvě podmínky. Oblast je prokládána funkcemi, které procházejí body s měřenými hodnotami, to je první podmínka. Zakřivení má být co nejmenší, to je druhá podmínka. Větší vliv na interpolovanou hodnotu budou mít vzdálené body, pokud vybereme více vstupních bodů, [21].

Metoda umí dopočítat i hodnoty vyšší nebo nižší než jsou změřené hodnoty. To IDW nedokáže.



Obrázek 16 - Mapa elektromagnetických polí, při níž byla využita metoda Spline

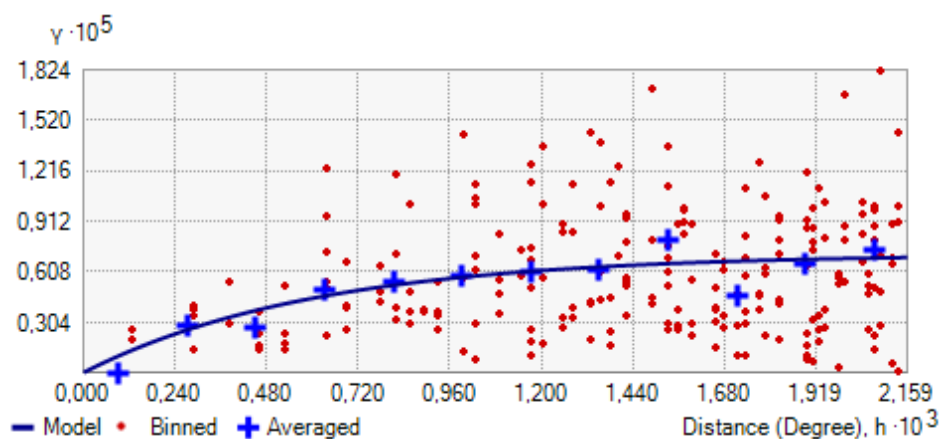
Jelikož tato metoda umí extrapolovat data (v tabulce vedle obrázku č. 16) jsou vidět i záporné hodnoty hustoty zářivého toku, což je ve své podstatě nesmyslné. Proto se tato metoda jeví pro tvorbu mapy elektromagnetických polí jako nevyhovující.

5.3.4 Kriging

Stochastická interpolační metoda využívající váhy bodů počítané pomocí funkcí. Jednotlivé váhy jsou závislé jednak na vzdálenosti mezi měřenými body, jednak na prostorovém uspořádání bodů měření. Proto je nutné určit prostorovou autokorelaci mezi jednotlivými měřeními body. K vizualizaci prostorové autokorelace jevu slouží semivariogram (obrázek č. 17). Existuje celá řada variogramů, [20], [21]:

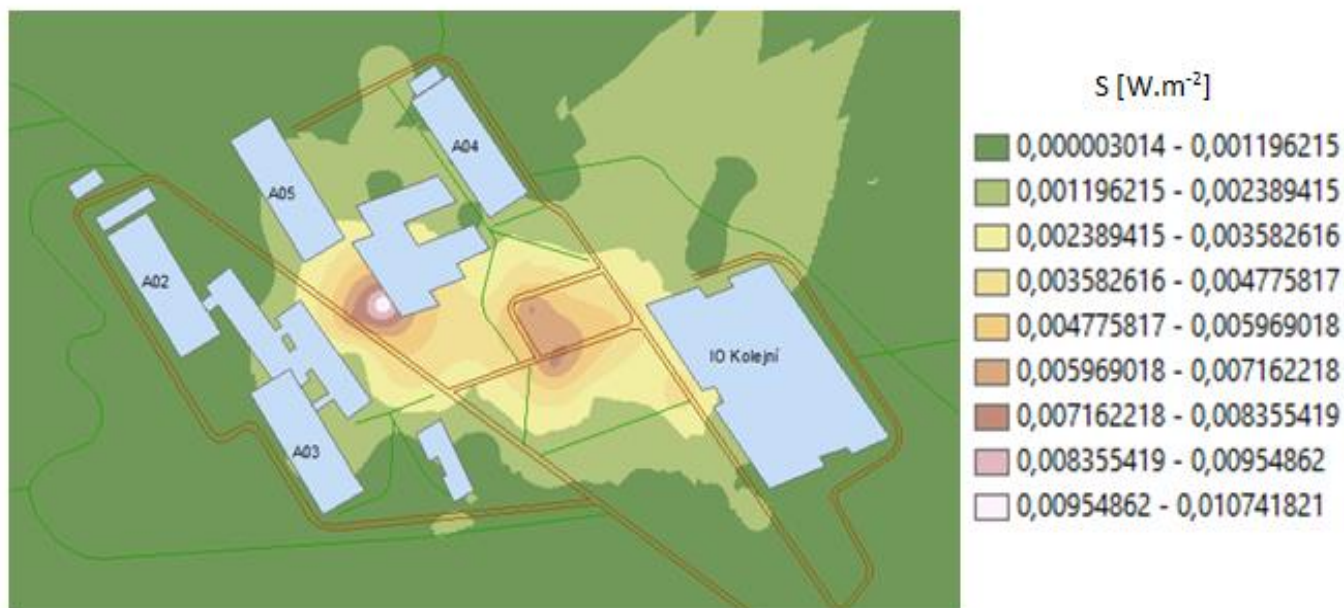
- Kruhový
- Gaussovský
- Exponenciální
- Kvadratický aj.

Při tvorbě modelu se vychází z empirického semivariogramu. Samotným cílem modelu je prognóza hodnot i v místech, kde neproběhlo měření, [21].



Obrázek 17 – Exponenciální model semivariogramu

V exponenciálním modelu (obrázek č. 17) se s rostoucí vzdáleností zmenšuje vliv autokorelace (se vzrůstající vzdáleností klesá autokorelace exponenciálně), [21]



Obrázek 18 - Výsledná mapa elektromagnetických polí s využitím metody Kriging

U této metody dosahujeme podobných výsledků jak při metodě IDW (obrázek č. 15). Jediným rozdílem jsou různé velikosti barevných ploch znázorňující působnost velikosti změřené hodnoty v daném bodě.

V nadstavbě Geostatistical Analyst je celá řada možností nastavení nejrůznějších parametrů a metod. Například Indikátorové krigování by se dalo využít v případě, že je předpoklad překročení hygienických limitů. Za pomoci testovací podmínky (hygienický limit) se určí pravděpodobnost, s jakou překročí či nepřekročí elektromagnetické pole (hustota zářivého toku) limit. Tato metoda se nedá aplikovat v našem případě, protože naměřené hodnoty jsou nízké.

Interpretace výsledků

Poblíž místa, které je vždy v jednotlivých mapách vyznačeno bílou plochou se nachází základnová stanice, která je částí GSM sítě. Tato stanice je zodpovědná za příjem a přenos radiových signálů z mobilních telefonů. V Evropě, Asii a Austrálii jsou nejrozšířenější pásma 900 MHz a 1800 MHz. Z toho se dá usuzovat, že největší část výkonu elektromagnetických polí je na těchto frekvencích (obsažené budou i další frekvence, které se využívají například pro rychlé datové přenosy – síť třetí generace, kolem 2100 MHz). Podíváme-li se zpětně na tabulku s hygienickou normou pro hustotu zářivého toku (tabulka č. 2), tak je zřejmé, že pro frekvenci 900 MHz stanovuje norma referenční úroveň na hodnotu $4,5 \text{ W.m}^{-2}$. Pro pásmo 1800 MHz je referenční úroveň dvojnásobná. Je zřejmé, že při maximální naměřené hodnotě $0,0111 \text{ W.m}^{-2}$, v bodě měření číslo 30 (tabulka č. 3), nebyla překročena hygienická norma, kterou stanovila vláda České republiky. A tato norma není překročena ani v dalších místech měřeného území.

Pro ověření tohoto tvrzení by se dal využít spektrální analyzátor, kterým bychom mohli proměřit v místech měření elektromagnetických polí i poměrné zastoupení jednotlivých frekvencí.

5.4 3D model

Nad rámec této práce je vytvořen 3D model zájmové oblasti v Google SketchUp a v programu ArcScene 10.1, kde je provedena analýza získaných dat za pomoci nadstavby 3D Analyst.

SketchUp

Google SketchUp (dostupný z: <http://www.sketchup.com>) je program pro tvorbu nejrůznějších 3D objektů. Dají se zde naprojektovat domy do nejpodrobnějších detailů společně s vybavením, dále pak můžeme vytvářet 3D modely automobilů, zvířat a mnoho dalšího.



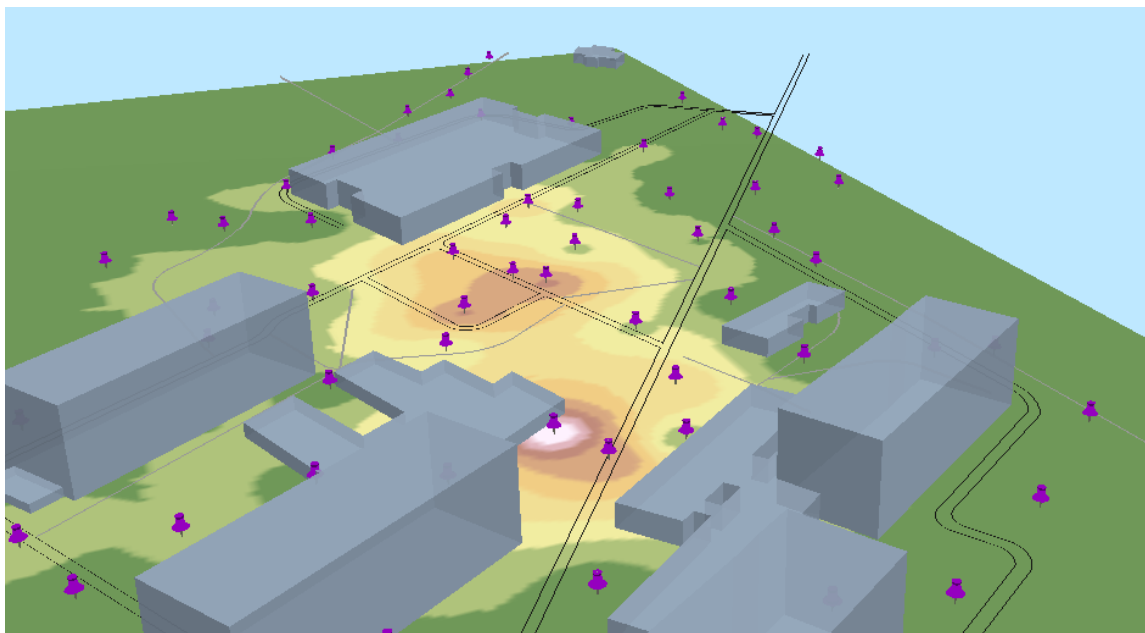
Obrázek 19 - 3D model zájmové oblasti vytvořený v SketchUp

Po pořízení snímků zájmové oblasti se pomocí kreslících nástrojů vytvořily modely budov. Následně byl na stěny jednotlivých budov přidán snímek z Google Street View a byly přidány modely stromů. Výsledný model je ukázán na obrázku č. 19. Výhodou programu SketchUp je možnost uložení projektu ve formátu *Collada*, který je posléze možno otevřít přímo v ArcScene.

ArcScene

V prostředí ArcScene se pracuje obdobně jak v ArcMap. Shapefily vytvořené v ArcMap byly vloženy opět jako jednotlivé vrstvy do ArcScene. Aby bylo možné vizualizovat budovy ve formě 3D, tak bylo potřeba jednotlivým budovám přiřadit v atributové tabulce přibližnou výšku. V nastavení budov se zapne možnost *Extrusion* a z atributové tabulky se vybere potřebný sloupec (v mém programu je pojmenován jako výška).

Analýza dat se provádí za pomoci nadstavby 3D Analyst, kdy nastavení jednotlivých interpolačních metod je obdobné jako v nadstavbě Spatial Analyst. Využita byla metoda IDW. Fialovými body jsou znázorněná místa měření.



Obrázek 20 - 3D vizualizace zájmové oblasti s analýzou dat pomocí metody IDW

Veškerá práce s daty, tvorba vektorové mapy, analýza dat probíhala v programech ArcMap 10.1 a ArcScene 10.1. Licence byla získána po registraci ze stránek společnosti ESRI (dostupné z: <http://www.esri.com/software/arcgis/arcgis-for-desktop/free-trial>), která tento software vyvíjí, v podobě trial verze, kterou je možno používat 60 dnů.

Pro možnost otevření projektů na počítačích Ústavu biomedicínského inženýrství jsou jednotlivé analýzy a vektorová mapa převedeny do starší verze ArcMap 9.2.

Vizualizace prostředí ve formě 3D pomocí ArcScene 10.1 se nepodařila převést na starší verzi a proto je v příloze jen ve verzi 10.1.

6. Závěr

Cílem bakalářské práce bylo vytvořit mapu elektromagnetických polí v geografickém informačním systému zvolené lokality. V první části této práce jsme se seznámili s existencí elektromagnetických polí a jejich fyziologickými účinky v podobě tepelných a netepelných účinků. Seznámili jsme se s hygienickými limity plynoucími z nařízení vlády č. 1/2008, dále pak jsme se seznámili s přístrojem EMR-30, který je širokopásmovým měřícím zařízením umožňující monitoring elektromagnetických polí. Stejně tak byly prostudovány možnosti geografického informačního systému, díky kterému jsme mohli naměřená data analyzovat.

V druhé části této práce jsme se zabývali samotným měřením úrovní elektromagnetických polí a práci s nashromážděnými daty (tabulka č. 3). Jako zájmová oblast bylo zvoleno okolí kolejí Pod Palackého vrchem z důvodů velkého počtu studentů. Bylo tedy na místě ověřit, zda nejsou překročeny limity, které by mohli představovat zdravotní riziko. K měření byl použit přístroj EMR-30 a GPS přijímač, kterým jsme přesně zaznamenávali polohu na zemském povrchu. Naměřená data byla posléze vyhodnocena v geografickém informačním systému ArcView 10.1. Mapy elektromagnetických polí byly vytvořeny s použitím interpolačních metod IDW, kriging, spline a metody přirozeného souseda v rámci nadstavby Spatial Analyst. Jako nejméně vhodná se ukázala metoda spline (obrázek č. 16), která po extrapolaci dat vykazovala záporné hodnoty elektromagnetických polí. Z důvodů nízkých naměřených hodnot jsme přišli o možnost využití některých metod v rámci nadstavby Geostatistical Analyst. Jako příklad lze uvést možnost výpočtu pravděpodobnosti, s jakou dojde k překročení hygienické normy. Programu ArcScene 10.1 bylo využito k 3D vizualizaci zájmové oblasti spolu s analýzou dat pomocí metody IDW (obrázek č. 20).

Po analýze map elektromagnetických polí a s předpokladem, že největší zastoupení mají frekvence 900 MHz a 1800 MHz, kvůli nedaleké základnové stanici, lze konstatovat, že nejsou překračovány hygienické limity stanovené Vládou České republiky (tabulka č. 2). Osobám pracujícím a pohybujícím se v areálu kolejí Pod Palackého vrchem tedy nehrozí zdravotní rizika spojená s existencí těchto polí.

Požadavky stanovené zadáním bakalářské práce byly splněny.

Seznam použité literatury

- [1] BELCHER a S. LIAO. MIT. *MIT Physics 8.02* [online]. 2004 [cit. 2012-11-05]. Dostupné z: http://www.aldebaran.cz/elmg/kurz_01_pole.pdf
- [2] NOVOTNÝ, K. *Teorie elektromagnetického pole I*. Vyd. 2. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005, 187 s. ISBN 80-010-3226-4.
- [3] MIKŠ, A. *Fyzika 2: elektromagnetické pole*. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005, 162 s. ISBN 80-010-3164-0.
- [4] PEKÁREK, L., P. ŠÍSTEK a L. JELÍNEK. *Neionizující záření: expozice a zdravotní rizika*. 1. vyd. Praha: Státní zdravotní ústav, 2006, 95 s. ISBN 80-707-1276-7.
- [5] Přenos energie elektromagnetických vln. In: *FYZMATIK* [online]. 2009 [cit. 2012-11-10]. Dostupné z: <http://fyzmatik.pise.cz/8412-prenos-energie-elektromagnetickych-vln.html>
- [6] ROZMAN, J. *Diagnostika životního prostředí*. 1. vyd. Brno: VUT, 2000, 136 s. ISBN 80-214-1771-4.
- [7] ROZMAN, J., M. CHMELÁŘ a K. JEHLIČKA. *VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. Terapeutická a protetická technika*. Brno, 2002.
- [8] VRBA, J. ČVUT. *Biologické účinky elektromagnetického pole* [online]. Praha, 2010, [cit. 2012-11-19]. Dostupné z: https://www.ib.cvut.cz/sites/default/files/Studijni_materialy/BUP/A5M17BUP_Vrba_skripta.pdf
- [9] Česká republika. Nařízení vlády o ochraně zdraví před neionizujícím zářením. In: *Sbírka zákonů ČR*. 2008, 1/2008. Dostupné z: <http://www.zakonyprolidi.cz/cs/2008-1#cast1>
- [10] RUDA, A. *Úvod do studia geografických informačních systémů*. Vyd. 1. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2010, 173 s. ISBN 978-80-7375-427-3.
- [11] TUČEK, J. *Geografické informační systémy. Principy a praxe*. 1. vyd. Brno: Computer Press, 1998, 424 s. ISBN 80-722-6091-X.
- [12] *Pracujeme s geografickým informačním systémem ArcView GIS: poznejte svět počítačových map a geografických informačních systémů pro každého*. 1. vyd. Praha: Computer Press, 1999, xi, 364 s. ISBN 80-722-6214-9.
- [13] FOŘT, I. *Geografické informační systémy*. Vyd. 1. Praha: Policejní akademie České republiky v Praze, 2009, 205 s. ISBN 978-80-7251-317-8.
- [14] FREEDEN, J. NARDA SAFETY TEST SOLUTIONS GMBH. *EMR-20/-30 EMR-21 EMR-200/-300 Radiation Meters: Operating Manual*. Pfullingen, Germany, 2005. BN 2244/98.22. Dostupné z: http://www.narda-sts.us/pdf_files/OperatingManuals/EMR-Series-Manual.pdf

- [15] E-field probe type 8. WANDEL & GOLTERMANN GMBH & CO. *Narda* [online]. Germany [cit. 2012-12-02]. Dostupné z: http://www.narda-sts.de/pdf/hochfrequenz/e_sonde8.pdf
- [16] US Instrument Services: Narda EMR-30 EM Radiation Meter. [online]. [cit. 2012-12-03]. Dostupné z: http://www.us-instrument.com/commerce/catalog/product.jsp;jsessionid=EA7F832AEFE3A5303595E0A31875315E?product_id=4066&czuid=1339038774875
- [17] Garmin.cz: GPSMAP 60 CSx. [online]. [cit. 2013-04-22]. Dostupné z: <http://www.garmin.cz/produkty/ostatni/jiz-nevyrabene/jiz-nevyrabene-pristroje/nevyrabene-outdoor/gpsmap-60-csx.html>
- [18] VOJTEK, D. Úvod do GIT a Základy geoinformatiky: Přímé vyjádření polohy (souřadnicové systémy a jejich transformace). [online]. [cit. 2013-05-11]. Dostupné z: http://gis.vsb.cz/vojtek/index.php?page=git_c/cviceni05
- [19] KLIMÁNEK, M. *Geoinformační systémy: návody ke cvičením v systému ArcGIS*. Vyd. 1. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2008, 66 s. ISBN 978-80-7375-211-8.
- [20] KRAUS, J. Geostatistika jako prostorové modelování statistických jevů. ČESKÝ STATISTICKÝ ÚŘAD, Praha. [online]. [cit. 2013-05-15]. Dostupné z: <http://panda.hyperlink.cz/cestapdf/pdf07c6/kraus.pdf>
- [21] KŘÍKAVOVÁ, L. *Interpolace bodových dat v GIS* [online]. Praha, 2009 [cit. 2013-05-15]. Dostupné z: <http://gama.fsv.cvut.cz/~cepek/proj/bp/2009/linda-krikavova-bp-2009.pdf>. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze.
- [22] LANGHAMMER, J. Hlavní metody interpolace. *Univerzita Karlova v Praze* [online]. [cit. 2013-05-15]. Dostupné z: http://web.natur.cuni.cz/~langhamr/lectures/vtfg2/prednasky/surfer_1/interpolace/interpolace.html
- [23] ŠENKEŘÍKOVÁ, L. *Pracujeme s GIS, didaktická podpora pro práci se software ArcView9* [online]. Brno, 2009 [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: http://is.muni.cz/th/152729/pedf_m. Diplomová práce. Masarykova univerzita.

Seznam použitých zkratek a symbolů

E	Intenzita elektrického pole [V.m^{-1}]
H	Intenzita magnetického pole [A.m^{-1}]
B	magnetická indukce [T]
D	elektrická indukce [C.m^{-2}]
f	frekvence [Hz]
S	Hustota zářivého toku [W.m^{-2}]
c	rychlost světla [m.s^{-1}]
μ	permeabilita [H.m^{-1}]
ε	permitivita [F.m^{-1}]
λ	vlnová délka [m]
SAR	Měrný absorbovaný výkon [W.kg^{-1}]
0D	Bezrozměrný
1D	Jednorozměrný
2D	Dvourozměrný
3D	Třírozměrný
ESRI	Environmental Systems Research Institute
GIS	Geografický informační systém
GPS	Globální poziční systém (z angl. Global Positioning System)
TFT	Thin Film Transistor – typ LCD displeje
USB	Universal Serial Bus
IDW	Metoda inverzního vážení (z angl. Inverse Distance Weighted)
CNS	Centrální nervová soustava
WGS_1984	Světový geodetický referenční systém 1984
ETRS	Evropský terestrický referenční systém
S-JTSK	Souřadnicový systém jednotné trigonometrické sítě katastrální
GSM	Globální systém pro mobilní komunikaci